

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Vliv obnovitelných zdrojů na vznik náhodných
ostrovních provozů při pracích na vedení vn**

**RES influence on casual creation of island
operations during live working at MV lines**

2018

Bc. Roman Česlár

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Roman Česlár

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Vliv obnovitelných zdrojů na vznik náhodných ostrovních provozů při pracích na vedení vn
RES influence on casual creation of island operations during live working at MV lines

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- o Rozbor obnovitelných zdrojů z hlediska používaných strojů.
- o Ostrovní provoz - popis a podmínky vzniku.
- o Práce pod napětím - metody a režim provozu.
- o Vliv náhodných ostrovních provozů na práce pod napětím.
- o Vliv obnovitelných zdrojů na distribuční soustavu 22 kV se zřízeným zvláštním režimem provozu - měření.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- o Doležal a kol.: Jaderné a klasické elektrárny, ČVUT Praha 2011, ISBN 978-80-01-04936-5
- o Karel Chmelík: Asynchronní a synchronní elektrické stroje, VŠB-TU Ostrava 2001, ISBN 80-7078-857-7
- o Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, kniha VŠB-TU Ostrava 2008
- o IV. Mezinárodní konference práce pod napětím Sokolnice 2015
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 30.04.2018


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.



V Ostravě 31. 7. 2018

Bc. Roman Česlár

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing Radomíru Goňovi, Ph.D., panu Ing. Romanu Vaňkovi, Ph.D. a kolegům z oddělení Příprava Východ za cenné rady, informace a podněty při odborných konzultacích.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vzniku náhodných ostrovních provozů na vedeních vn vlivem instalovaných obnovitelných zdrojů. V diplomové práci jsou popsány jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů a jejich vliv na chod a stabilitu distribuční sítě vn. Popis vzniku a podmínky udržení ostrovních provozů. Dále jsou v diplomové práci popsány vybrané práce pod napětím v distribuční soustavě vn. Důvody a způsoby zřízení zvláštního režimu provozu v distribuční soustavě vn a vliv náhodného ostrovního provozu na bezpečnost prací pod napětím. Vliv obnovitelných zdrojů na distribuční soustavu vn 22kV byl ověřen měřeními. Tato měření, jejich výsledky a vyhodnocení, jsou součástí diplomové práce.

Klíčová slova

elektrická energie; napětí; kvalita napětí; kolísání napětí; distribuční soustava; dodavatel; odběratel; výrobce; distributor; zpětné vlivy na distribuční síť; vysoké napětí; zvláštní režim provozu; práce pod napětím, obnovitelní zdroje,

Abstract

This diploma thesis deals with problematics of the occurrence of coincidental island operations on the vn lines due to installed renewable sources. The thesis describes individual types of renewable sources and their influence on the operation and stability of the distribution network of high voltage. The description of the establishment and conditions for maintaining island operations is included. Selected works under voltage in the distribution system of high voltage are also described in the thesis. Reasons and manners of installation a peculiar mode of operation in the distribution system and the impact of Accidental Island traffic on the safety of work under voltage. The influence of renewable sources on the distribution system at 22 kV was verified by measurements. These measurements, their results and evaluation are part of the diploma thesis.

Key words

electrical energy; voltage; voltage quality; voltage fluctuations; distribution system; supplier; subscriber; producer; distributor; feedback effect to the distribution network; high voltage; special mode of operation; work under voltage, renewable resources,

Seznam použitých zkratk

AC	- Střídavý proud (alternating current)
ASRU	- Systém automatické regulace jalového výkonu a napětí v uzlu
B-PPN	- Příkaz B pro práce pod napětím
BPS	- Bioplynová stanice
BS	- Schopnost startu ze tmy
ČSN	- Česká státní norma
DC	- Stejnoseměrný proud (direct current)
DŘS	- Dispečerský řídicí systém
DTS	- Distribuční trafostanice
DS	- Distribuční soustava
EN	- European standart - evropská norma
EZ	- Elektrické zařízení
FVE	- Fotovoltaická elektrárna
KGJ	- Kogenerační jednotka
LDS	- Lokální distribuční soustava
MVE	- Malá Vodní Elektrárna
nn (NN)	- Nízké napětí - do 1kV
OZE	- Obnovitelné Zdroje Energie
PNE	- Podniková norma energetiky
PDS	- Provozovatel Distribuční soustavy
PPN	- Práce pod napětím
Pps	- Podpůrné služby
PS	- Přenosová soustava
PWM	- Pulzně šířková modulace
SCADA	- Supervisory control and data acquisition - Systém dispečerského řízení a sběru dat
vn (VN)	- Vysoké napětí - od 1kV do 52kV
VTE	- Větrná elektrárna
vvn (VVN)	- Velmi vysoké napětí - od 52kV do 300kV
zvn (ZVN)	- Zvlášť vysoké napětí - od 300kV

OBSAH

1	Úvod.....	1
2	Obnovitelné zdroje.....	2
2.1	Fotovoltaické elektrárny – FVE.....	2
2.2	Větrné elektrárny – VTE.....	6
2.3	Bioplynové elektrárny a kogenerační jednotky – BPS a KGJ.....	13
2.4	Malé vodní elektrárny - MVE.....	16
2.5	Vliv OZE na chod Distribuční soustavy.	18
3	Ostrovní provoz.....	20
3.1	Pravidla podpůrných služeb zdrojů.....	20
3.2	Chování výroben v síti – Zásady podpory sítě.....	22
3.3	Náhodné ostrovní provozy	26
4	Práce pod napětím.....	27
4.1	Zvláštní režim provozu	28
5	Měření, zpracování a rozbor naměřených dat.....	31
5.1	Měření 1 – Zemní spojení – síť s BPS 1MW a dvěma FVE 0,6+1MW	31
5.2	Měření 2 – Zemní spojení – síť s dvěma FVE 1,8+1MW	34
5.3	Měření 3 – Zemní spojení – síť s MVE 1MW	38
6	Závěr	43
	Použitá literatura	44
	Seznam obrázků	45
	Seznam tabulek.....	45
	Seznam příloh.....	45
	Přílohy.....	46

1 Úvod

V dnešní době je elektrická energie jednou z nepostradatelných součástí života. Je nezbytná jak v průmyslu, tak v drtivé většině domácností. Už ze samotné podstaty elektrické energie vyplývá, že se jedná o komoditu, která se jen velmi obtížně a nákladně hromadně skladuje. Výroba elektrické energie zpravidla neprobíhá v místě spotřeby a je na místo spotřeby dopravována distribuční sítí, do které je napojeno několik výroben elektrické energie.

V posledních desetiletí bylo, zejména díky dotační politice státu, do distribučních sítí připojováno velké množství tzv. obnovitelných zdrojů. Obecně užívané označení „obnovitelné zdroje“ není úplně nejšťastnější, neboť již z principu není možno komoditu (vítr, sluneční svit, biomasu), která se používá k výrobě elektrické energie obnovit. Pro účely této diplomové práce si vystačím s obecně užívaným výrazem. Do distribuční soustavy byli připojováni jak malí výrobci, tak i velcí výrobci s nezanedbatelným dopadem na provozování distribučních, přenosových soustav a provozování konvenčních elektráren. S rozmachem těchto velkých obnovitelných zdrojů musela přijít i celková změna koncepce provozování distribuční soustavy a s ohledem na evropské trendy budou změny k decentralizaci a využívání ekology podporovanými zdroji elektrické energie dále pokračovat.

Jedním z trendů dnešní doby jsou ostrovní provozy. Jedná se o provoz části distribuční soustavy bez galvanického propojení se zbytkem distribuční soustavy nebo soustavou přenosovou. Toto bývalo doménou některých velkých elektrárenských či teplárenských zdrojů, avšak s rozmachem obnovitelných zdrojů je i provozování sítě v ostrovním provozu dostupnější. Pomalou se do provozu dostávají i tzv. „Smart Grids“ chytré sítě, u těchto sítí jsou zdrojem elektrické energie zpravidla kogenerační jednotky, tyto mají vyšší efektivitu provozu, neboť vyrábějí současně teplo i elektrickou energii. Tyto sítě budou do budoucna nejspíše základem konceptu decentralizovaného napájení distribuční soustavy.

Z hlediska dodávky elektrické energie je možnost provozovat část distribuční sítě, v případě poruchových stavů, či plánovaných prací v distribuční soustavě, v ostrovním provozu přínosná. Existuje však i odlišný úhel pohledu, vzhledem k neustálému tlaku na snižování množství nedodávky elektrické energie zákazníkovi, narůstá množství prací, které se provádějí pod napětím. Aby bylo možno práce pod napětím vykonávat bezpečně, je jedním z nutných předpokladů zřízení zvláštního režimu provozu na vedení vn. V případě indikace poruchy na vedení některou z ochran, musí dojít v co nejkratším čase k odpojení vedení VN od zdroje napájení, neboť je reálné riziko úrazu pracovníků pracujících pod napětím. V této diplomové práci se budu zabývat možnostmi vzniku náhodných ostrovních provozů, vlivem obnovitelných zdrojů připojených do vedení vn.

2 Obnovitelné zdroje

Obnovitelný zdroj energie je označení některých vybraných, na Zemi přístupných forem energie, získané primárně především z jaderných přeměn v nitru Slunce. Dalšími zdroji jsou teplo zemského nitra a setrvačnost soustavy Země-Měsíc. Lidstvo je čerpá ve formách např. slunečního záření, větrné energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasy a další.

[1]

Obnovitelné zdroje jsou v české legislativě definovány následovně:

- Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona o životním prostředí je: „*Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.*“
- Definice podle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů): „*Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.*“

[1]

V celosvětovém měřítku představují obnovitelné zdroje energie značný, ekologicky čistý potenciál, který by bylo teoreticky možné využít pro pokrytí současné celosvětové spotřeby energie. Využívání obnovitelných zdrojů je však limitováno několika faktory, jako je malá plošná koncentrace, nestejnoměrné územní rozložení, proměnlivá intenzita v průběhu dne i roku a značné investiční náklady.

[1]

2.1 Fotovoltaické elektrárny – FVE

Sluneční záření patří mezi nejčistší a nejdostupnější zdroje energie na Zemi. Slunce je zdrojem zářivé energie v celém rozsahu spektra od nejmenších vlnových délek rentgenového a ultrafialového záření, až po metrové délky záření radiového. Světelné a infračervené záření o vlnové délce 0,2 μm až 3 μm je však nejčtenější (lidské oko vnímá záření v rozsahu 0,38 až 0,76 μm).

[1]

Energetický tok vyzařované energie slunce je $3,85 \cdot 10^{26}$ W. Sluneční konstantou nazýváme střední hodnotu toku sluneční energie, dopadající na vnější povrch zemské atmosféry na jednotku plochy kolmou ke směru šíření záření. Teoretická hodnota sluneční konstanty je 1360 W/m^2 . Sluneční záření obsahuje vlnové délky od 10^{-10} m do několika metrů (rentgenové, UV záření \rightarrow rádiové záření). Ve výšce kolem 60 km nad povrchem země, v ionosféře dojde k pohlcení rentgenové ho a části UV záření. Vrstva ozónu, cca 20-30 km nad povrchem, pohlcuje zbývající část nebezpečného UV záření.

V nižších vrstvách pak sluneční záření pohlcují vodní páry, kapky vody v mracích, CO_2 a prach. Největší část sluneční energie, která dosáhne zemského povrchu je ve vlnové délce 0,3 – 3 μm , tedy

viditelné a infračervené záření. V České republice, na optimálně orientované plochy, dopadá přibližně 1000-1200 kWh/m²/rok sluneční energie.

Teoretické množství energie dopadající na osluněnou plochu za den je závislé na sklonu kolektoru a součiniteli znečištění Z. Optimální úhel pro maximální využití slunečního záření se v průběhu roku mění následovně:

- letní období 30° - 45°
- zimní období 60°- 90°

[1]

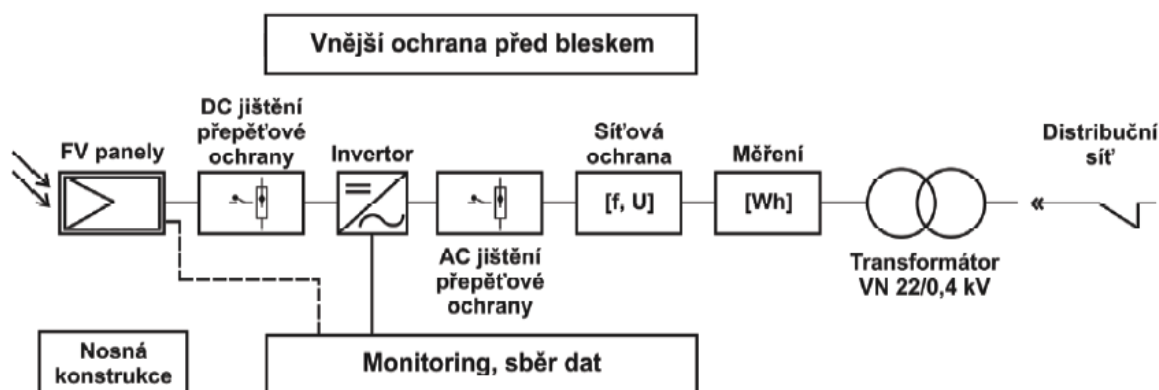
Tab. 2.1 Typické hodnoty součinitele znečištění [1]

typ oblasti	součinitel znečištění Z
místa na 2000 m.n.m.	2,0
místa nad 1000 m.n.m.	2,5
venkov bez průmyslových exhalací	3,0
města a průmyslová střediska	4,0
silně znečištěné prostředí	≥5,0

Fotovoltaické systémy umožňují přímou přeměnu sluneční energie na energii elektrickou. Prvkem umožňujícím přeměnu světelné energie na elektrickou je velkoplošný polovodičový prvek – fotovoltaický článek. Vlastní fotovoltaické systémy vzniknou spojením fotovoltaických součástí do řetězce, na jehož konci jsou elektrické spotřebiče.

Základními částmi jsou:

- fotovoltaické články, spojené do modulů,
- konstrukce pro upevnění modulů,
- měniče - invertory DC/AC
- připojení k distribuční síti / ke spotřebičům



Obr. 2.1 Komponenty fotovoltaického systému [1]

Fotovoltaické panely vyrábí pouze stejnosměrný proud, který je nutno změnit na proud střídavý, aby bylo možno připojit elektrárnu do elektrické rozvodné sítě. Zařízení umožňující tuto přeměnu se nazývá měnič, střídač nebo tzv. invertor. Používané invertory jsou také schopny poskytovat informace o vlastní výrobě elektrické energie.

[1]

Invertor musí dodávat co nejvyšší výkon s minimem ztrát. To může být zajištěno odstraněním transformátoru s následným snížením tepelných ztrát a užitím zařízení pro sledování bodu maximálního výkonu (MPP), které změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod invertoru. Přifázování střídače (připojení energie z panelů do sítě) bývá plně automatizováno. Na životnost invertorů má mimo jiné vliv i konstrukční řešení - chlazení přirozenou cirkulací vzduchu bez použití ventilátoru. Pro konkrétní použití se vyrábějí invertory ostrovní a síťové.

[1]

Ostrovní generují svůj vlastní kmitočet, který odpovídá kmitočtu v rozvodné síti ($f = 50 \text{ Hz}$). Tak je možno použít v této síti běžné elektrické spotřebiče střídavého proudu.

[1]

Síťové měniče synchronizují svůj kmitočet a napětí s aktuálními parametry rozvodné sítě.

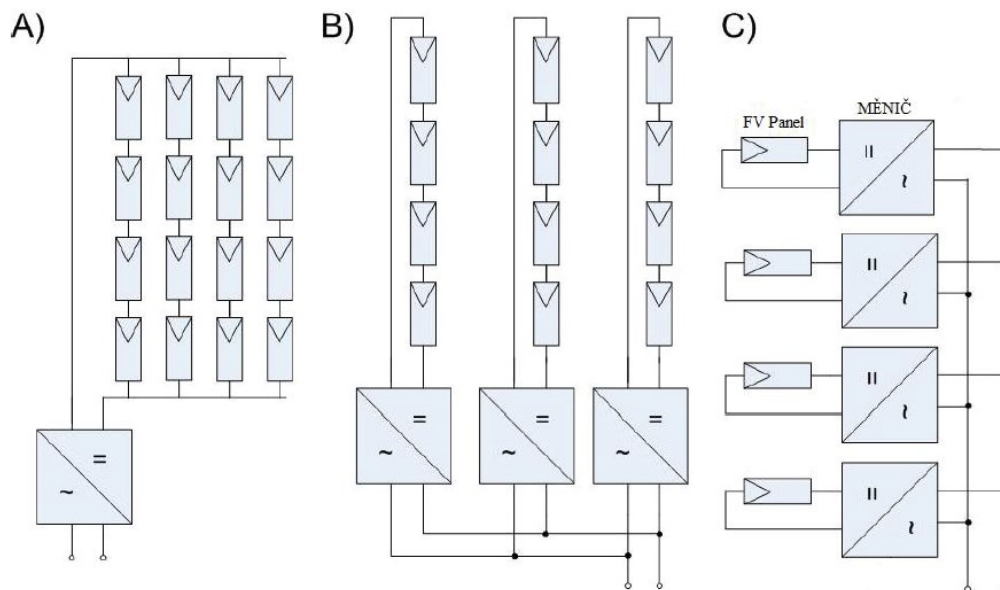
[1]

Z hlediska zapojení v systému FVE se invertory dělí na:

- modulové invertory (invertor je připojen pouze k jednomu FV modulu),
- řetězcové nebo stringové (každý invertor je připojen k několika FV panelům vzájemně propojeným do série, případně i paralelně)
- centrální invertory (připojené na stovky až tisíce FV panelů).

[1]

Příklady zapojení jednotlivých typů invertorů jsou na **Obr. 2.2**. S modulovými střídači (A) se setkáme velmi zřídka, výlučně u malých systémů. Středně velké elektrárny využívají řetězcových střídačů (B). V případě velkých elektráren se používá koncept jak velkých centrálních střídačů (C), tak i velkého množství řetězcových střídačů.



Obr. 2.2 Příklady zapojení invertorů [1]

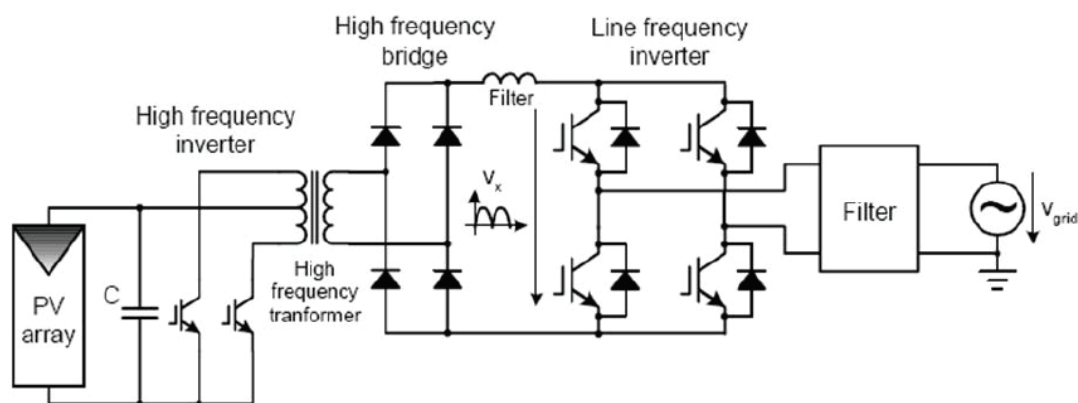
Při výběru vhodného invertoru je potřeba správně definovat jeho parametry, mezi základní parametry invertorů patří:

- nominální výkon AC a DC strany,
- maximální vstupní napětí,
- rozsah napětí MPP trackeru,
- účinnost invertoru,
- vnitřní konfigurace
 - počet nezávislých MPP trackerů
 - počet výkonových stupňů
 - možnosti komunikace apod.
- maximální vstupní proud
- krytí IP

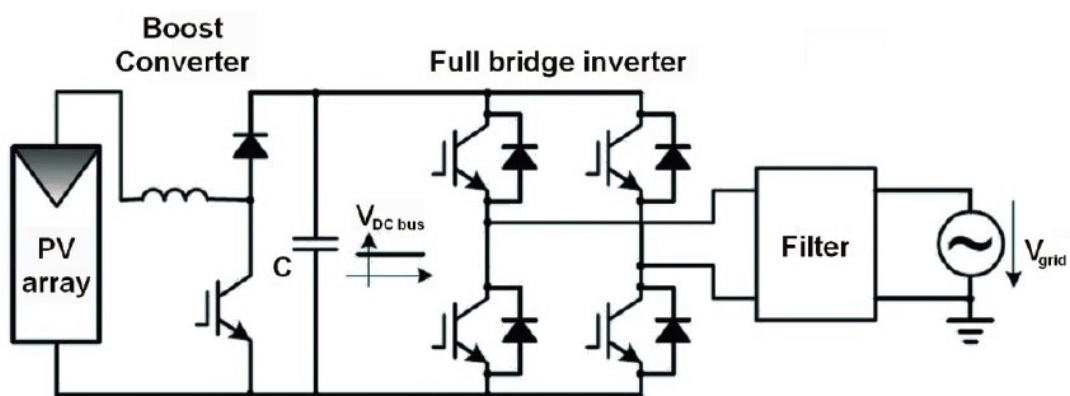
[1]

Příklady vnitřního zapojení invertorů jsou znázorněny na **Obr. 2.3** a **Obr. 2.4**. Výhodou invertorů s transformátorem je galvanické oddělení a tím i vyšší bezpečnost a možnost použít fotovoltaické panely založené na tenkovrstvé technologii. Určitou nevýhodou jsou však vyšší ztráty a velká hmotnost. V porovnání provozní účinnosti dosahují invertory s transformátorem účinnosti o 1 – 2% nižší než invertory bez transformátoru.

[1]



Obr. 2.3 Vnitřní zapojení invertoru s transformátorem [1]



Obr. 2.4 Vnitřní zapojení invertoru bez transformátoru [1]

2.2 Větrné elektrárny – VTE

Energie větru je člověkem využívána již několik století. První zmínky o větrném motoru s vodorovnou osou jsou z 3. století před Kristem z Egypta. Na evropském kontinentu se začaly větrné mlýny využívat od 13. století.

[1]

Na začátku 19. století byla realizována první aplikace využívající větrnou energii pro výrobu energie elektrické (Poul la Cour 1891). Avšak vzhledem k objevení a vývoji parního stroje došlo v závěru 19. století k útlumu rozvoje využívání větrné energie.

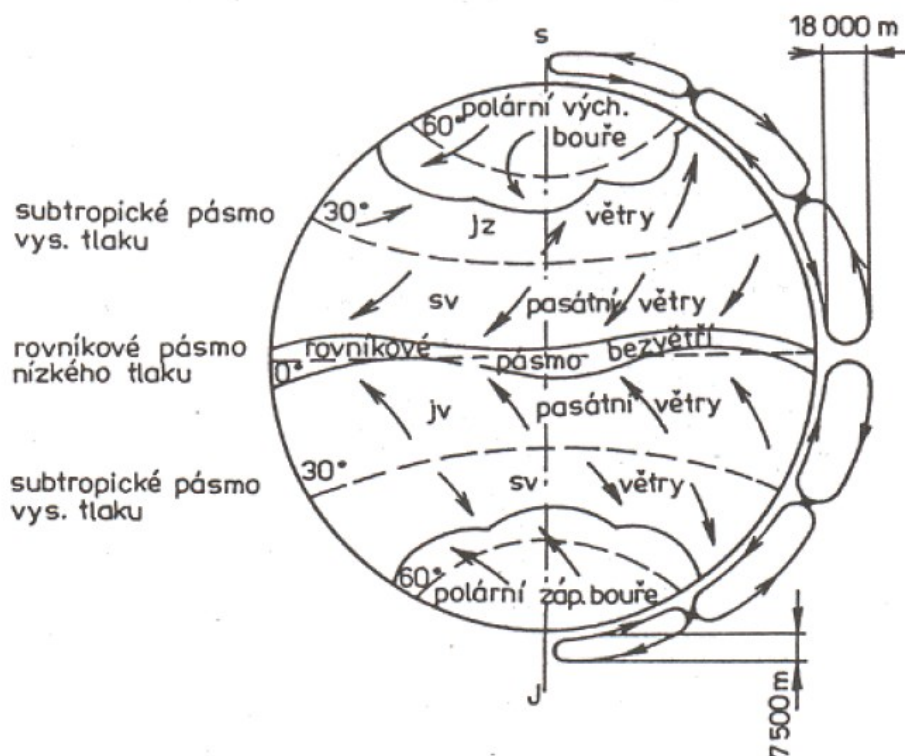
[1]

V současné době došlo k obnově zájmu o využívání větrné energie a to především pro výrobu elektrické energie. Tento „boom“ větrné energetiky souvisí se snahou omezení nepříznivých vlivů při využívání fosilních paliv pro výrobu energie a s tím související snaha o snížení emisí skleníkových plynů v atmosféře.

[1]

Vítr vzniká vlivem nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu slunečním zářením. Od ohřátého povrchu se ohřívá přilehlá vrstva vzduchu a teplý vzduch má tendenci stoupat vzhůru. Celý děj je silně ovlivněn rotací Země a střídáním dne a noci, což má za důsledek vznik tlakových rozdílů v zemské atmosféře. Vyrovnáním tlakových rozdílů vzniká vítr, který vane vždy od tlakové výše k tlakové níži. Kolem tlakové níže na severní polokouli jde spinální pohyb proti směru hodinových ručiček, u tlakové výše ve směru hodinových ručiček. Na jižní polokouli je smysl rotace u tlakové výše a níže opačný (viz. **Obr. 2.5**).

[1]



Obr. 2.5 Princip vzniku větru [1]

Větrné motory jsou zařízení, které se používají k přeměně kinetické energie větru na mechanickou energii. Ve větrných elektrárnách se nejprve kinetická energie větru přeměňuje v mechanickou energii, která je následně transformována v elektrickou energii. Rozdělení větrných elektráren může být provedeno podle mnoha různých hledisek, ale základní dělení je provedeno podle aerodynamického principu funkce větrného motoru, a to na:

- motory odporové – účinnost 15-23%
- motory vztahové – účinnost rychloběžných axiálních přes 40%

[1]

Další rozdělení větrných motorů může být provedeno podle uložení osy rotace (horizontální a vertikální), podle instalovaného výkonu a podle rychlostního součinitele (λ) na pomaloběžné a rychloběžné.

[1]

Pro výrobu elektrické energie se ve větrných elektrárnách používají asynchronní a synchronní generátory.

[1]

Asynchronní generátor je v porovnání se synchronním jednodušší a finančně méně náročný a z hlediska provozu je spolehlivější. Nevýhodou asynchronního generátoru je malé rozpětí otáček. Naopak výhodou asynchronního generátoru je jeho jednoduchý rozběh, připojení na síť a regulace výkonu.

[1]

Synchronní generátor může být provozován pouze při synchronních otáčkách větrné turbíny. Aby bylo možné synchronní generátor provozovat v širším rozmezí otáček, je potřeba vyrobenou elektrickou energii usměrnit a následně opět s využitím střídače převést na frekvenci sítě.

[1]

Ve větrných elektrárnách středních a velkých výkonů se pro výrobu elektrické energie využívají asynchronní motory s kotvou nakrátko pracující v generátorickém chodu. Jak již bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, výhodou asynchronních generátorů je jejich vysoká provozní spolehlivost, nenáročná údržba a nízké pořizovací náklady.

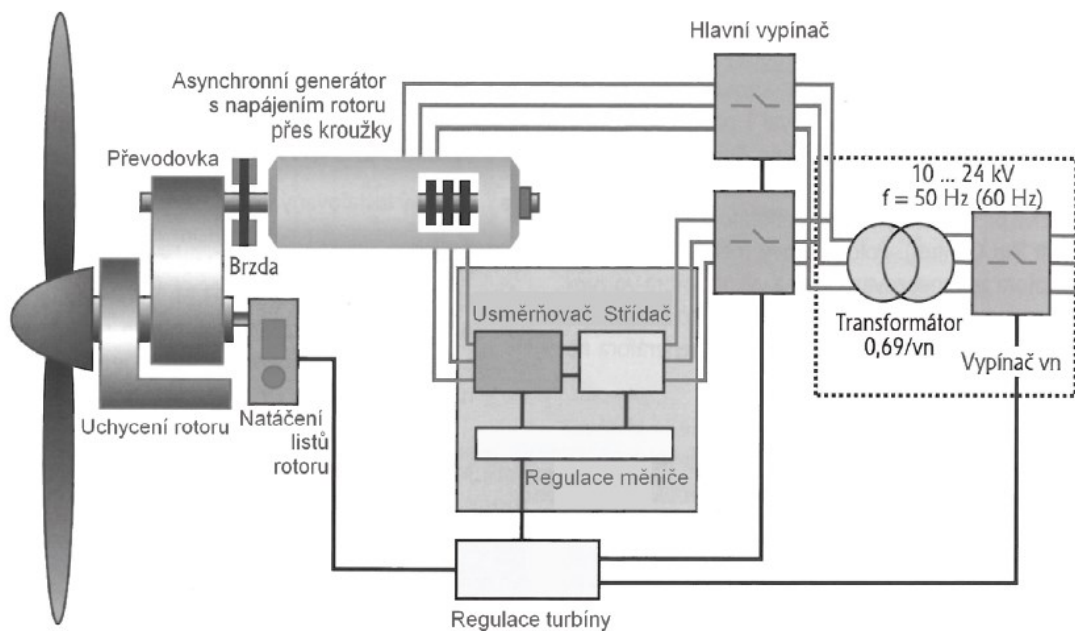
[1]

Nevýhodu při využití asynchronního generátoru, která plyne z malého regulačního rozpětí otáček generátoru, můžeme potlačit využitím asynchronního generátoru s napájeným rotorem (podsynchronní kaskáda), tzv. double-fed induction generator.

[1]

Toto zapojení se používá při vyšších instalovaných výkonech generátorů a umožňuje provoz generátorů i při nižších otáčkách turbíny – nízkých rychlostech větru. Příklad zapojení je na **Obr. 2.6**. Toto zapojení umožňuje provoz bez napájení rotoru v případě spojení rotorového vinutí nakrátko nebo v případě, že se do rotoru zapojí přídavné odpory, které umožní zvýšení rozsahu skluzu v generátorickém provozu sklonem momentové charakteristiky generátoru.

[1]



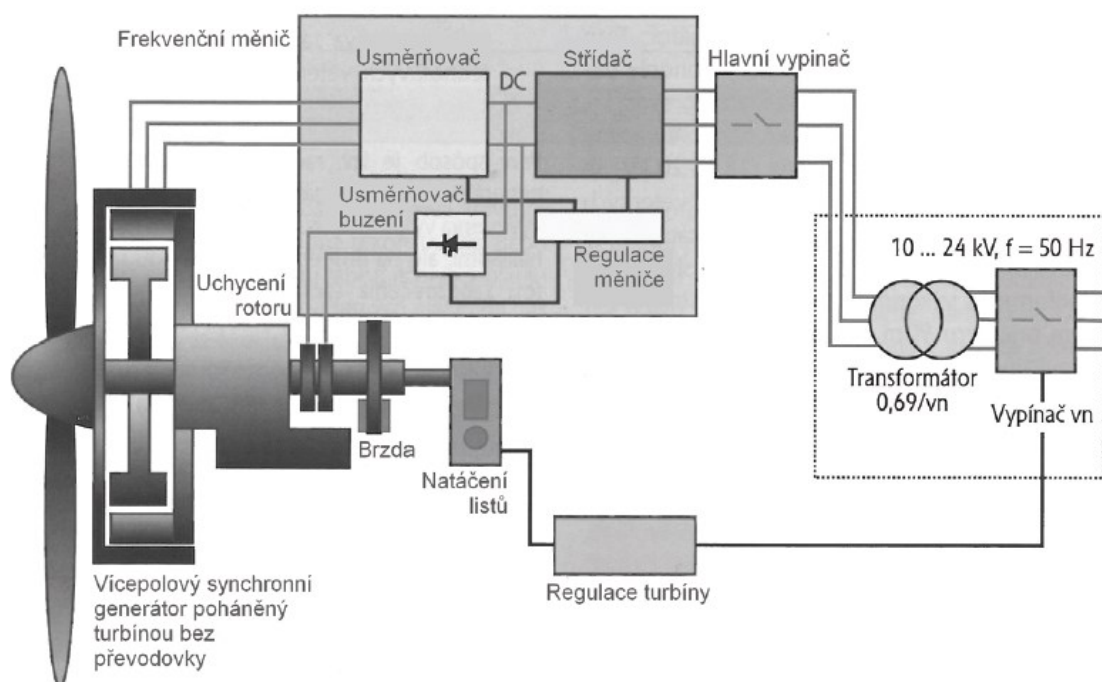
Obr. 2.6 Asynchronní generátor s napájeným rotorem [1]

Synchronní generátory se využívají u větrných elektráren s velkým instalovaným výkonem nebo speciálního provedení. V současné době jsou poměrně velmi využívány synchronní generátory poháněné přímo turbínou bez převodovky. Konstrukčně jsou provedeny jako synchronní generátory s budícím vinutím na rotoru.

[1]

Výhodou tohoto řešení je snížení hmotnosti gondoly větrné elektrárny, ale na druhou stranu se zvětší rozměry generátoru, ke kterému je dále připojen měnič frekvence s možností regulace celého jeho výkonu. Elektrárny v tomto provedení mohou pracovat v širokém rozpětí otáček turbíny. Příklad zapojení je na **Obr. 2.7**.

[1]



Obr. 2.7 Synchronní generátor poháněný přímo turbínou [1]

Větrné elektrárny jsou konstruovány tak, aby bylo možné při rychlostech větru kolem 15 m.s^{-1} (54 km.h^{-1}) docílit maximálního energetického výnosu. Stavět zařízení s maximem produkce při vyšších rychlostech se nevyplácí, protože tak vysoké rychlosti větru se vyskytují jen zřídka. V případě velmi silného větru se musí výkon větrných elektráren snížit, aby se zabránilo škodám na zařízení.

[1]

Jmenovitý výkon je obvykle dosahován při rychlostech větru $13 - 15 \text{ m.s}^{-1}$ a při rychlostech převyšujících 25 m.s^{-1} jsou větrné elektrárny odstavovány.

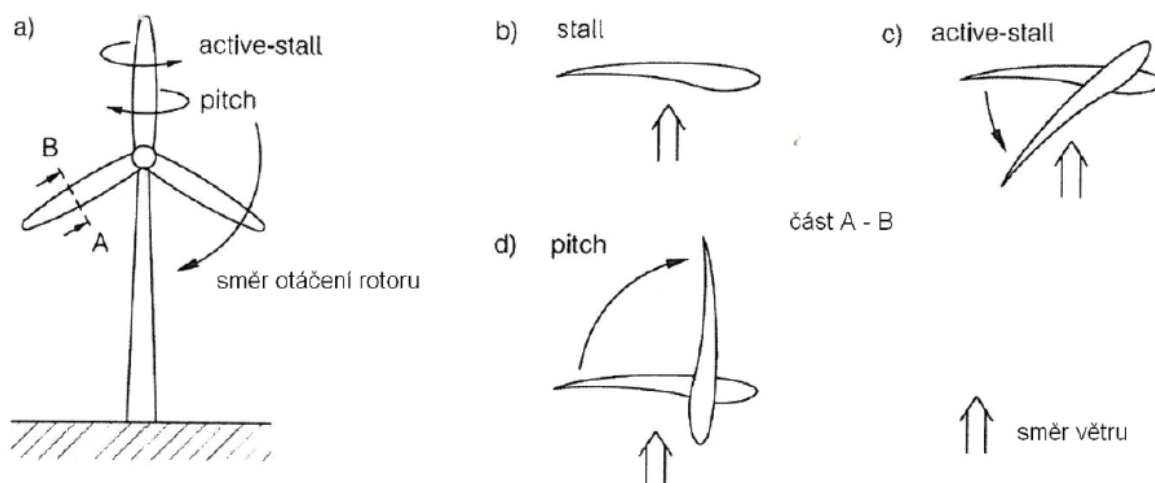
[1]

Pro regulaci výkonu u velkých větrných elektráren se používají následující způsoby regulací:

- regulace STALL
- regulace PITCH
- regulace ACTIVE STALL
- regulace STALL-PITCH a PITCH-STALL

Obecně můžeme říci, že větrné elektrárny využívající regulaci STALL jsou konstrukčně jednodušší než elektrárny s regulací PITCH, protože nemají technický systém měnící nastavení listů rotoru. Princip jednotlivých regulací je naznačen na **Obr. 2.8**.

[1]



Obr. 2.8 Princip regulace STALL, PITCH a ACTIVE-STALL

[1]

Regulace STALL

U tohoto způsobu regulace jsou lopatky pevně kotveny k rotoru a regulace je dána proměnným tvarem lopatek. Při nárůstu rychlosti větru dochází k elastické změně geometrie konce lopatky. To způsobí zvyšování úhlu náběhu na konec lopatky a postupné odtržení proudu vzduchu od lopatky. Laminární proudění se postupně mění na turbulentní, což má za následek snížení vztlaku a pokles momentu na hřídeli.

[1]

Nevýhodou tohoto způsobu regulace je skutečnost, že výkon rotoru při vysokých rychlostech větru klesá a tím klesá i jeho účinnost. Další nevýhodou je neschopnost rotoru samostatného rozběhu, což je v praxi realizováno elektrickým motorem. Běžně se systém STALL využívá u elektráren s výkonem do 1000 kW.

[1]

Regulace PITCH

Jedná se o aktivní regulaci, která pracuje se vstupním signálem výkonu generátoru. V případě, že výkon překračuje bezpečné meze, elektrický signál uvede v činnost hydraulický systém, který provede vychýlení lopatek rotoru. Vychýlení lopatek způsobí snížení vztlaku, větší radiální odpor lopatek a tedy snížení momentu na hřídeli. Poté, co se rychlost větru sníží, regulace způsobí opačným směrem a dojde k navýšení výkonu dle potřeby. Pro pohon hydraulického systému natáčení se používá zpravidla krokových motorů.

Konstrukce větrných turbín s touto regulací je náročnější což má za následek i menší provozní spolehlivost. Regulaci PITCH lze využít pro regulaci rozběhu elektrárny, ale především k omezení výkonu při vyšších rychlostech větru, aniž by došlo k výraznému snížení výkonu. Rychlost regulace

je poměrně pomalá a proto regulace na moment, při velkých výkyvech rychlostí větru v blízkosti maximálního výkonu není dostatečně rychlá, aby zabránila přetěžování generátoru.

[1]

V současnosti se proto začíná využívat už kombinované regulace PITCH-STALL.

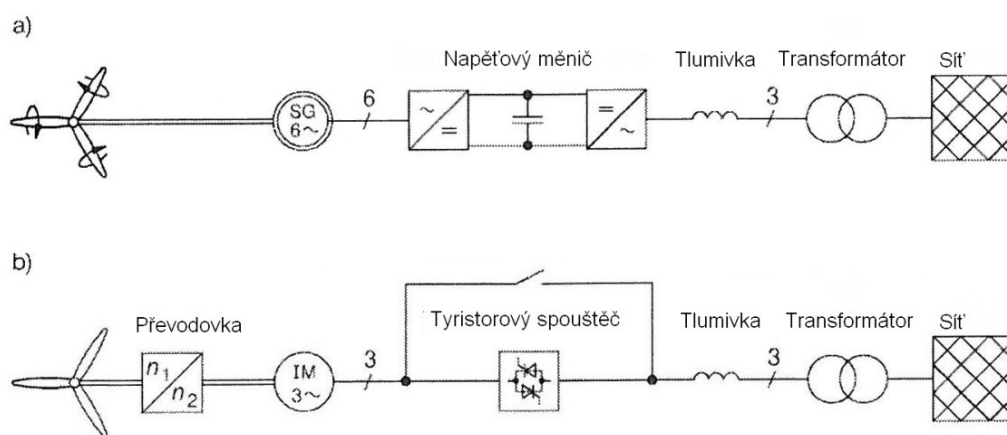
Výhody regulace PITCH můžeme shrnout do několika bodů:

- aktivní kontrola výkonu v celém rozsahu rychlosti větru
- vyšší produkce energie oproti regulaci STALL
- jednoduchý start elektrárny změnou nastavení úhlu náběhu
- nejsou potřeba silné brzdy pro okamžité zastavení rotoru
- snižuje zatížení listů rotoru
- nižší hmotnost rotorových listů

[1]

Blokové zapojení větrných elektráren využívajících regulaci PITCH a STALL je vidět na **Obr. 2.9**. Schéma a) představuje větrnou elektrárnu se synchronním generátorem využívající pro regulaci výkonu PITCH regulaci. Druhé blokové schéma představuje větrnou elektrárnu s asynchronním generátorem s výkonovou regulací

[1]



Obr. 2.9 Zapojení větrných elektráren s různými typy regulací [1]

Regulace ACTIVE-STALL

Při využití tohoto způsobu regulace je rozběh elektrárny a provoz při malých rychlostech větru stejný jako u regulace PITCH. Při dosažení limitních hodnot výkonu dojde k natočení lopatek v opačném směru než je tomu právě u regulace PITCH. To způsobí zvýšení úhlu náběhu větru, odtržení proudu vzduchu a pokles vzlaku. Úhel natočení nemusí být tak vysoký jak by tomu bylo při regulaci PITCH a proto je možné reagovat na náhlé nárůsty rychlosti větru rychleji a předcházet přetěžování generátoru. Výhodou této regulace oproti regulaci PITCH je menší citlivost na znečištění povrchu na náběžných hranách listů (např. hmyz).

[1]

2.3 Bioplynové elektrárny a kogenerační jednotky – BPS a KGJ

Biomasa neodmyslitelně patří mezi obnovitelné zdroje energie. Biomasu můžeme popsat jako přeměněnou sluneční energii, zachycenou rostlinami a uloženou ve formě chemické energie. Dalo by se říci, že v případě hospodárného využívání půdy bude biomasa k dispozici neustále. Její velkou předností je její minimální vliv na množství CO₂ v ovzduší při jejím spalování.

[1]

Pro dobrou využitelnost biomasy je nutné dodržet určité technologické postupy při jejím zpracování. Jedním z faktorů, který ovlivňuje kvalitu biomasy, je obsah vody, která má přímý vliv na výhřevnost. Čerstvá biomasa má velký obsah vody a ta má velké výparné teplo. Před spalováním je proto třeba biomasu vysušit. Všeobecně se doporučuje snížit vlhkost pod 30 % a za optimální se považuje vlhkost do 20 %. Pro účely lisování briket nebo pelet je třeba surovinu vysušit na ještě nižší obsah vody.

[1]

Využití biomasy jakožto obnovitelného zdroje má z hlediska energetiky veliký význam. Nespornými přednostmi jsou především vysoký energetický potenciál a centralizovaná výroba energie. Možnost produkce biomasy v lokálních podmínkách snižuje energetickou závislost na zdrojích z dovozu. Nezanedbatelnou výhodou je i zpracování a likvidace odpadů, které mohou být v nezpracované podobě toxické. Největší výhodou jsou široké možnosti řízení výroby energie v časovém měřítku, na rozdíl od ostatních obnovitelných zdrojů, které buď neumožňují řízení výroby vůbec a jsou zcela závislé na podmínkách počasí nebo jsou regulovatelné jen v omezené míře. Mezi nevýhody využití biomasy lze uvést malou účinnost využití sluneční energie a nutnost dopravy do místa zpracování.

[1]

Biomasu využitelnou pro energetické účely je možné rozdělit do následujících skupin:

- a) fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy,
- b) fytomasa olejnatých plodin,
- c) fytomasa s vysokým podílem škrobu a cukru,
- d) organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu,
- e) směsi různých organických odpadů.

Pro získávání energie využívá biomasa těchto typů:

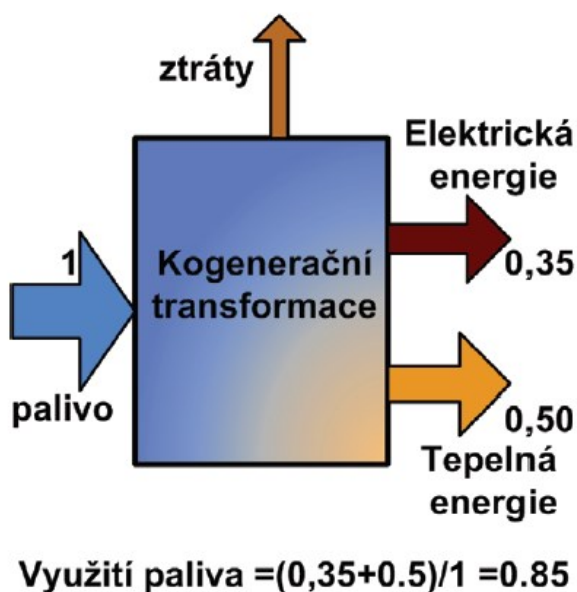
- biomasa záměrně pěstovaná pro energetické účely
 - cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina, olejniny, energetické
 - dřeviny
- odpadní biomasa
 - rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny
 - odpady z živočišné výroby
 - komunální organické odpady z venkovních sídel
 - organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob
 - lesní odpady (dendromasa)

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je dán jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jedním z nejdůležitějších parametrů určující kvalitu a využití biomasy je vlhkost (obsah sušiny v biomase). Hodnota 50% sušiny je přibližná hranice mezi mokkými procesy využití biomasy (obsah sušiny je menší než 50%) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50%).

[1]

Kogenerace znamená generace více typů energií paralelně. Tato strategie dosahuje vyšší využití paliva, jak prezentuje **Obr. 2.10** a je velmi perspektivní v oblasti kogenerace tepelné a elektrické energie, pro kterou se používá zkratka KGJ. tzv. velkou kogeneraci reprezentují teplárny.

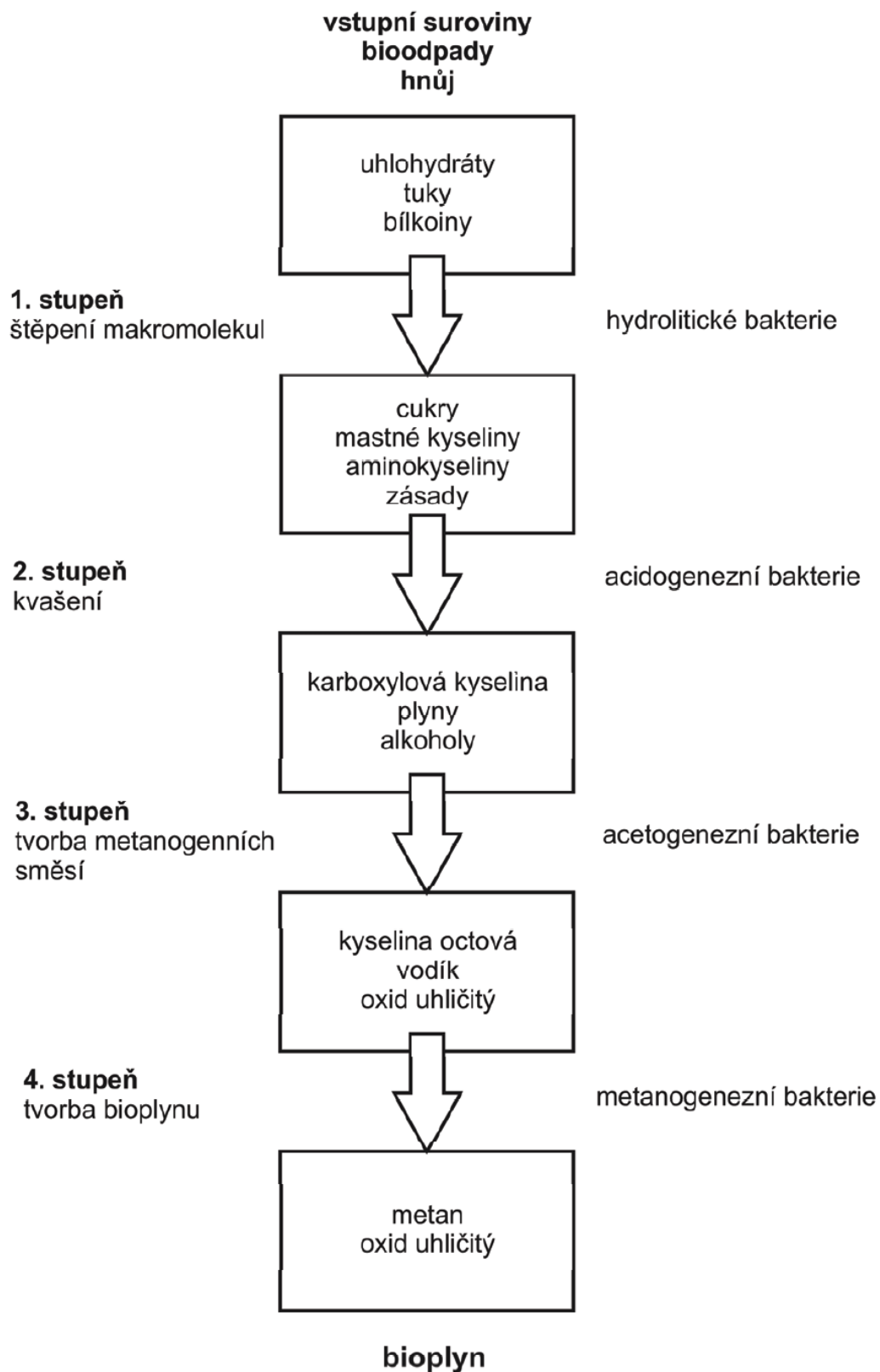
[3]



Obr. 2.10 Princip kogenerace [3]

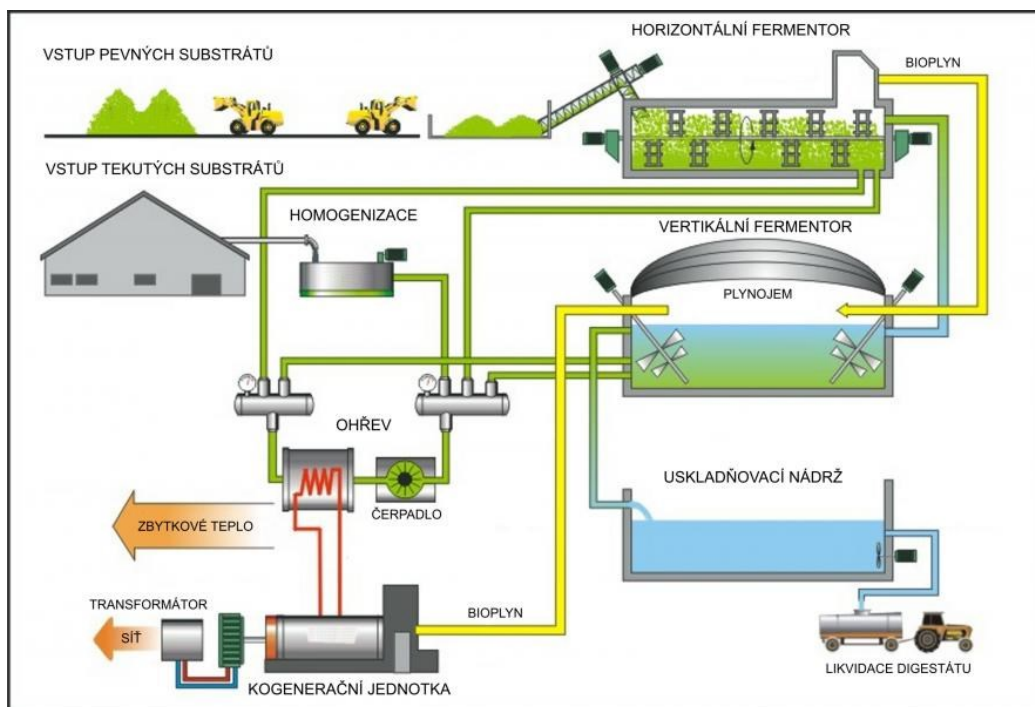
Pro výrobu bioplynu se využívá anaerobní fermentace. Proces anaerobní fermentace je z chemického hlediska víceetapový proces, ve kterém dochází k postupné přeměně sacharidů, tuků a bílkovin na bioplyn působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů. Celý proces probíhá ve čtyřech fázích – hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze (schématicky je celý proces naznačen na **Obr. 2.11**):

[1]



Obr. 2.11 Postup výroby bioplynu [1]

Odpadní tepelná energie se u BPS s KGJ využívá jednak pro vlastní potřeby ohřevu procesu výroby bioplynu, ale také k vytápění a ohřevu užitkové vody. Jak je zřejmé z **Obr. 2.12**.



Obr. 2.12 Zobrazení procesu BPS s kogenerací [2]

Technologii kogeneračních jednotek můžeme rozdělit na:

- S kotlem s parní turbínou
- Se spalovacím motorem
- Se spalovací turbínou

Jako zdroj elektrické energie může být použit synchronní nebo asynchronní generátor.

2.4 Malé vodní elektrárny - MVE

Vodní energii využívá lidstvo již cca 2000 let. Využívání transformace kinetické energie vody k získání mechanické práce byl první úspěšný pokus lidstva využít přírodních energetických zdrojů ke svému prospěchu. Rozvoj prvních civilizací byl spojen s využíváním vodní energie. Stagnující vývoj vodních strojů výrazně urychlila první průmyslová revoluce. V 19. století se začala prosazovat Francisova turbína s radiálním oběžným kolem a dostředivým průtokem s natáčivými rozváděcími lopatkami, Peltonova rovnotlaká turbína pro velké spády a na počátku 20. Století Kaplanova přetlaková axiální turbína. Ve 20. století byla postavena velká vodní díla, osazená turbínami se značně velkým jednotkovým výkonem, často v řádu několika set MW. Vzhledem k tomu, že většina typů vodních turbín i velmi velkých výkonů je schopna během velmi krátké doby najet na plný výkon, má vodní energetika každého státu poměrně značný stabilizující význam jak z technického, tak i ekonomického hlediska.

[1]

S ohledem na skutečnost, že hydroenergetický potenciál je v České republice již poměrně nízký, budeme se dále podrobněji zabývat technologiemi pro malé vodní elektrárny (MVE). Pro výstavbu elektráren malých výkonů lze s určitými omezeními, energetický potenciál vody na našem území ještě využít. MVE pracují paralelně s elektrizační sítí. Nejmenší výkony jsou připojovány k síti nn v rámci objektu a vyrobená elektrická energie je určena pro vlastní spotřebu objektu. Případný přebytek výkonu se dodává do místní distribuční sítě. I MVE s vyššími výkony se zpravidla připojují k síti vn.

[1]

Pro většinu provozovaných MVE jsou vhodné generátory na střídavý proud. Využívají se jak synchronní tak asynchronní generátory. Volba mezi uvedenými typy generátorů je podmíněna požadavky provozovatele distribuční sítě, k níž je MVE připojena. Na vybraném typu závisí také skladby elektrického zařízení MVE.

[1]

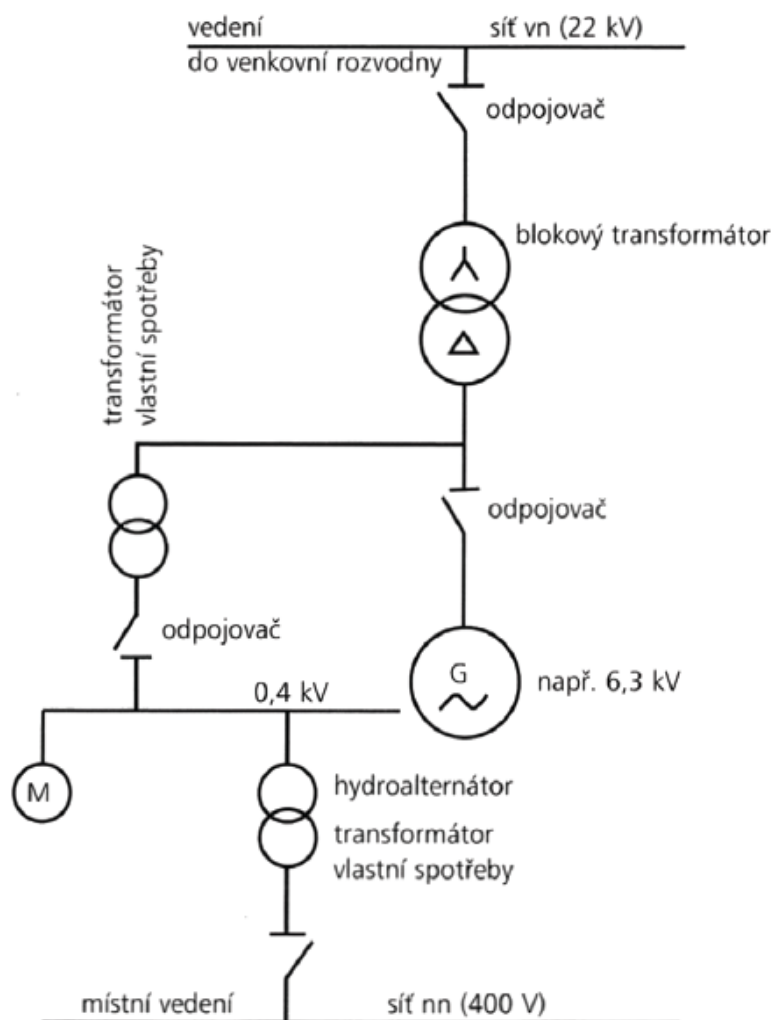
Synchronní generátor má stator se střídavým trojfázovým vinutím a rotor s jednosměrným budícím vinutím. Konstrukční provedení vychází z velikosti generátoru a počtu pólů. Počet pólů spolu s frekvencí určuje synchronní otáčky generátoru: Synchronní generátor má možnost regulovat napětí a frekvenci. Napětí je možno ovlivnit změnou budícího proudu. Uvedené způsoby regulace platí pro případ samostatného provozu synchronního generátoru do autonomní sítě (ostrovní provoz). Obvykle se provozuje synchronní generátor paralelně s distribuční sítí. Síť je považována za výkonově silnou, tj. s pevným napětím a frekvencí, které se nedají malým výkonem uvažovaného generátoru ovlivnit. Generátor dodává do sítě jalový a činný výkon. Činný výkon je dán mechanickým výkonem vodního stroje a souvisí se zátěžovým úhlem generátoru. Jalový výkon je dán velikostí budícího proudu. K dodávce do sítě se používá regulace na konstantní jalový výkon nebo na konstantní účinník. Paralelní provoz se sítí při nízkém budícím proudu skrývá nebezpečí v podobě vypadnutí generátoru ze synchronismu. Připojení generátoru k síti (fázování) je jemné při synchronizaci napětí, frekvence a fáze nebo samosynchronizací, tj. připojením generátoru k síti v přibližně synchronních otáčkách v nenabuzeném stavu a následném nabuzení. Samosynchronizací vzniká proudový ráz 2,5 – 3krát větší, než jmenovitý proud.

[1]

Asynchronní generátor se používá především v režimu výroby a dodávky elektrické energie MVE do pevné sítě. U samostatného provozu do autonomní sítě se asynchronní generátor nepoužívá. Stator asynchronního generátoru má trojfázové střídavé vinutí, stejně jako synchronní stroje. Rotor může být vinutý s kroužky nebo se dá použít rotor s klecovým vinutím. Při přivedení trojfázového napětí na svorky statoru vznikne točivé magnetické pole, které v rotorovém vinutí indukuje proudy, jejichž silovými účinky se rotor otáčí ve směru točení magnetického pole a stroj se chová jako motor. Když rotor dosáhne synchronních otáček s magnetickým polem, nic se neindukuje. Proto se rotor v motorovém chodu otáčí s otáčkami o něco nižšími, než jsou otáčky synchronní – pracuje se skluzem. Při zvýšení otáček rotoru nad otáčky magnetického pole bude rotor do sítě dodávat činný výkon. Ze sítě však bude odebírat jalový výkon pro svou magnetizaci. Odběr jalového výkonu ze sítě má za následek zvýšení proudu v síti. Pro potlačení tohoto jevu se využívá kompenzace pomocí kondenzátorů, ale to přináší nebezpečí vzniku přepětí na svorkách paralelní kombinace kondenzátor – generátor, samobuzením při výpadku sítě a následném zvýšení otáček hydrogenerátoru. Fázování generátoru se provede jednoduchým připojením generátoru k síti při dosažení přibližně

synchronních otáček. Použitím asynchronního generátoru se zjednoduší ostatní elektrická zařízení, zmenšuje se jejich hmotnost, a tím se snižuje i cena. Nevýhodou je odběr jalového výkonu, neschopnost samostatného chodu a nižší účinnost při částečném výkonovém zatížení. Asynchronní stroje se zpravidla dimenzují výkonově co nejbližší k maximálnímu výkonu turbíny.

[1]



Obr. 2.13 Schéma připojení MVE k síti [1]

2.5 Vliv OZE na chod Distribuční soustavy.

Zatímco například geotermální energie či biomasa, v závislosti na logistice, patří z pohledu běžného časového měřítky mezi spolehlivé a stabilní zdroje energie, spolehlivost a stabilita většiny z ostatních je dána řadou deterministických ale i v podstatě stochastických faktorů/jevů. Mezi deterministické jevy patří roční, denní či jiné cykly a za náhodné jevy považujeme například mezi sezónní změny či výkyvy počasí. Významný vliv na provoz, řízení a chránění distribučních sítí s distribuovanou výrobou má ta část technologického celku tvořící rozhraní s distribuční soustavou, resp. s elektrickým systémem. Typicky je to synchronní generátor, asynchronní generátor, nebo polovodičový výkonový

měníč. V neposlední řadě je rozhodující místo připojení a síťové poměry, respektive topologie sítě a parametry jednotlivých prvků distribuční soustavy.

[1]

Zpětné vlivy OZE na DS se vztahují k jejich připojení a provozu a ovlivňují tak kvalitu elektrické energie, v distribuční soustavě a tím i samotné zařízení sítě, či elektrická zařízení odběratelů elektrické energie. Každý zdroj energie připojený do DS může v závislosti na svém výkonu měnit/zvyšovat velikost napětí v místě připojení a tedy i rozložení velikosti napětí v jednotlivých uzlech sítě. Připojení zdroje je obvykle doprovázeno přechodným dějem se skokovou změnou těchto napětí, jejíž velikost je dána především technologií (provedením a řízením) generátoru, který tvoří rozhraní s DS. Fluktuace injektovaného výkonu typická pro větrné elektrárny a fotovoltaické elektrárny nebo i kogenerační jednotky spalující biopaliva může způsobit kolísání či změny napětí v síti, které vedou na rušivé blikání světelných zdrojů - flickr. Tyto zdroje mohou i zvyšovat napětí v místě připojení nad povolenou mez. Zvyšování napětí se dá kompenzovat řízením jalového výkonu na konstantní napětí, zdroj bude řízeně odebírat jalový výkon. Generátory připojené přes výkonové měniče, či přímo připojené rotační generátory nevhodné konstrukce mohou do napájecí sítě injektovat proud neharmonického průběhu a tím způsobovat dodatečné harmonické zkreslení napětí v DS. OZE mohou být pro napájecí sít i zdrojem mezipharmonických proudů vznikajících v důsledku: PWM modulace u střídačů, řídicího schématu generátorů a měničů, intermodulace dvou měničů pracujících přes DC obvod s rozdílnou fundamentální frekvencí. Jestliže je frekvence PWM řízení střídačů nad 9 kHz (střídače FVE typicky do 25 kHz) proniká do DS rovněž rušení středofrekvenční. Propagace všech uvedených a dalších rušivých jevů v DS závisí na impedanční charakteristice sítě v místě připojení, která může být afektována rezonancemi zařízení výroby s ostatními zařízeními DS na určitých frekvencích a rezonanční efekt tak může nežádoucí projevy připojení OZE ještě zesílit.

[1]

Povolené změny napětí v místě připojení dle PPDS:

- $\Delta u \leq 3 \% U_n$ (pro společný napájecí bod v síti nn)
- $\Delta u \leq 2 \% U_n$ (pro společný napájecí bod v síti vn a 110 kV).

Tyto hodnoty platí za předpokladu dodržení mezí napětí podle ČSN EN 50160 (33 0122).

[6]

3 Ostrovní provoz

Ostrovní provoz výroby elektrické energie je schopnost dodávky energie do lokální nebo distribuční sítě v době, kdy je tato galvanicky odpojena od soustavy. Jednou ze základních podmínek plánovaného vzniku a udržení ostrovního provozu je vyrovnaná bilance výkon/spotřeba v rámci možností regulace výroby elektrické energie. Z technologického hlediska jsou vhodné zdroje pro ostrovní provozy vodní elektrárny, teplárny, bioplynové stanice. Jsou dva způsoby vzniku ostrovního provozu, plánovaný nebo poruchový. Vlivem poruchy na distribuční nebo přenosové soustavě, kdy dojde k fyzickému odpojení od zbytku sítě a zároveň oblast připojená k výrobně elektrické energie má vyrovnanou bilanci. V tomto případě nedojde k přerušení dodávky elektrické energie k odběratelům a je zde i možnost že se po eliminaci poruchového stavu podaří ostrovní provoz připojit zpět k distribuční soustavě. Provoz ostrovu se výkonově i napěťově udrží. Druhá varianta je úplný výpadek dodávky elektrické energie tzv. Blackout spojený s rozpadem PS nebo DS, kdy ostrov není výkonově ani napěťově vybilancovaný. Na pokyn nadřazeného dispečinku, certifikovaná výroba elektrické energie, v rámci podpůrných služeb najede generátor a po dosažení jmenovitého napětí a frekvence postupně začne napájet část distribuční soustavy. Jedná se o tzv. Start ze tmy a jde o certifikovanou podpůrnou službu. K již existujícímu ostrovnímu provozu je možno připojovat další výroby elektrické energie, které nejsou schopny najet bez vnějšího zdroje napětí a postupně rozšiřovat ostrovní provoz.

3.1 Pravidla podpůrných služeb zdrojů.

U výroben, u kterých se předpokládá využití jejich regulačních vlastností jako podpůrných služeb, musí vlastník tohoto zařízení nechat vyhotovit studii připojitelnosti výroby pro potřeby PpS. Součástí studie musí být také popis vazeb mezi výrobnou a dispečinkem PDS včetně seznamu přenášených signálů. PDS je povinen poskytnout zpracovateli studie připojitelnosti pro potřeby PpS potřebné podklady o síti, avšak pouze v tom případě, že zpracování této studie inicioval.

[7]

SCHOPNOST STARTU ZE TMY (BS)

Schopnost výroby - najetí bez pomoci vnějšího zdroje napětí - na jmenovité otáčky, dosáhnout jmenovitého napětí, připojení k síti a jejího napájení v ostrovním režimu. Schopnost vybraných výroben pro start ze tmy je nezbytná pro obnovení dodávky po úplném nebo částečném rozpadu sítě. Výběr výroben schopných startu ze tmy provádí PDS v dohodě s poskytovatelem této služby. Požadavky na vybrané výroby pro start ze tmy jsou uvedeny v následujících kapitolách. Poskytovatel služby zajistí zálohované napájení telekomunikačního spojení obsluhy výroby s dispečinkem PDS a přenos informací i při ztrátě napětí v DS. Poskytovatel služby zajistí pravidelné školení obsluhy výroby pro danou činnost.

[7]

DODRŽENÍ POSTUPU

Po obdržení pokynu k provedení startu ze tmy od PDS se provedou následující kroky (ve smluvně dohodnutém časovém a výkonovém rozpětí):

- okamžité zahájení postupu najíždění bez použití vnějšího zdroje napětí
- obnovení napětí v předávacím místě ze strany výroby v požadované kvalitě (velikost napětí, stabilita a kmitočet), výroba pracuje v regulačním režimu ostrovního provozu výroby.
- další provoz podle pokynů PDS

[7]

KOORDINOVATELNOST POSTUPU

Poskytovaná PpS je v souladu s Plánem obnovy, je kompatibilní s postupy obnovy a s provozními instrukcemi a předpisy dotčených subjektů: výrobců el. energie, velkoodběratelů a lokálních distribučních soustav (LDS) v dané lokalitě.

PDS navrhne maximální rozsah sítě připojované k výrobě, zohledňující regulační rozsah jalového výkonu výroby, pro zamezení samobuzení při uvádění, zejména nezátížené DS, pod napětí.

Poskytovatel služby stanoví časové a výkonové limity pro minimální a maximální povolené zatížení výroby po najetí ze tmy do ostrovního provozu a pro opakované najetí zdroje při neudržení provozu vyčleněného ostrova, s ohledem na tepelné charakteristiky zdroje.

[7]

SCHOPNOST OSTROVNÍHO PROVOZU (OP)

Jedná se o schopnost provozu výroby do vydělené části vnější sítě tzv. ostrova. Ostrovní provoz výroby se vyznačuje značnými změnami systémových veličin – frekvence a napětí, což souvisí s tím, že zdroj pracuje do izolované části soustavy. Výroba přechází automaticky do regulačního režimu ostrovního provozu při poklesu frekvence pod 49,8 Hz a při vzrůstu frekvence nad 50,2 Hz. Změny zatížení ostrova představují velké nároky na regulaci činného výkonu výroby. Zatížení je proměnné a tím vyvolané změny napětí a frekvence musí být blok schopen řešit svou autonomní regulací (na rozdíl od paralelního provozu, kdy jsou změny napětí a frekvence řešeny prostřednictvím systémových služeb). PDS navrhne rozsah DS pro předpokládaný ostrovní provoz, zohledňující výkon zdroje a stanoví nastavení souvisejících ochranných a automatů v DS. Požadavky na chování výroby při přechodu do ostrovního provozu, provozu v ostrovním provozu a opětovné přifázování jsou uvedeny v následujících kapitolách. Kromě uvedených požadavků musí výroba se schopností ostrovního provozu splňovat veškeré požadavky uvedené v Příloze 4 PPDS.

Dále poskytovatel služby:

- stanoví časové a výkonové limity pro minimální a maximální povolené zatížení zdroje, s ohledem na tepelné charakteristiky zdroje,
- zajistí zálohované telekomunikační spojení obsluhy zdroje s dispečinkem PDS a přenos informací při ztrátě napětí v DS,
- zajistí pravidelné školení obsluhy zdroje pro danou činnost.

[7]

PŘECHOD DO OSTROVNÍHO PROVOZU

Přechod do ostrovního provozu výrobní je charakterizován obvykle náhlou změnou frekvence a vznikem bilanční nerovnováhy činného případně jalového výkonu. Při přechodu do ostrovního provozu (jehož vznik je indikován vhodným frekvenčním relé, které je nastaveno na hodnotu danou frekvenčním plánem) je nutné okamžitě zajistit:

1. změnu režimu regulace výrobní na proporcionální regulaci otáček
2. odpojení dálkové regulace výkonu (vypojení zdroje ze sekundární regulace f a P)
3. odpojení ASRU ze systému terciární regulace napětí
4. aperiodický a stabilní přechod otáček na novou hodnotu, která je dána frekvencí v ostrovu a nastavenými parametry regulace otáček. Výkon výrobní se v mezním případě může změnit z hodnoty jmenovitého výkonu až k hodnotám vlastní spotřeby
5. odepnutí výrobní od vnější sítě do provozu na vlastní spotřebu (i ze jmenovitého zatížení) nebo na provoz do vyčleněné části DS. Přechod na otáčkovou regulaci musí být stabilní.
6. přepnutí potřebných regulací zdroje do režimu vhodného pro ostrovní provoz
7. další provoz podle pokynů PDS

[7]

OPĚTOVNÉ PŘIPOJENÍ OSTROVA K SOUSTAVĚ

Výrobní musí být schopna:

1. pracovat v režimu ostrovního provozu po dobu minimálně 2 hodin,
2. dle pokynů dispečera DS regulovat frekvenci ostrova dostatečně plynule a jemně, tak aby mohlo dojít v daném místě k opětnému přiřazování ostrova k propojené soustavě,
3. výrobní musí být schopna připojení k vnější síti při kmitočtu dle frekvenčního plánu a svorkovém napětí $(92 < u < 108) \% U_n$,
4. v případě, že se výrobní fází v rozvodně DS, musí být blok schopen přivést napětí po blokovém vedení do této rozvodny.

[7]

3.2 Chování výroben v síti – Zásady podpory sítě.

Výrobní zařízení musí být schopna se při dodávce do sítě podílet na udržování napětí. Přitom se rozlišuje mezi statickou a dynamickou podporou sítě. Požadované hodnoty a charakteristiky pro podporu sítě udává PDS. Dodržování zadaných hodnot zajišťuje automatické řízení ve výrobně. Detailní provedení je specifikováno ve smlouvě o připojení.

[6]

Statické řízení napětí

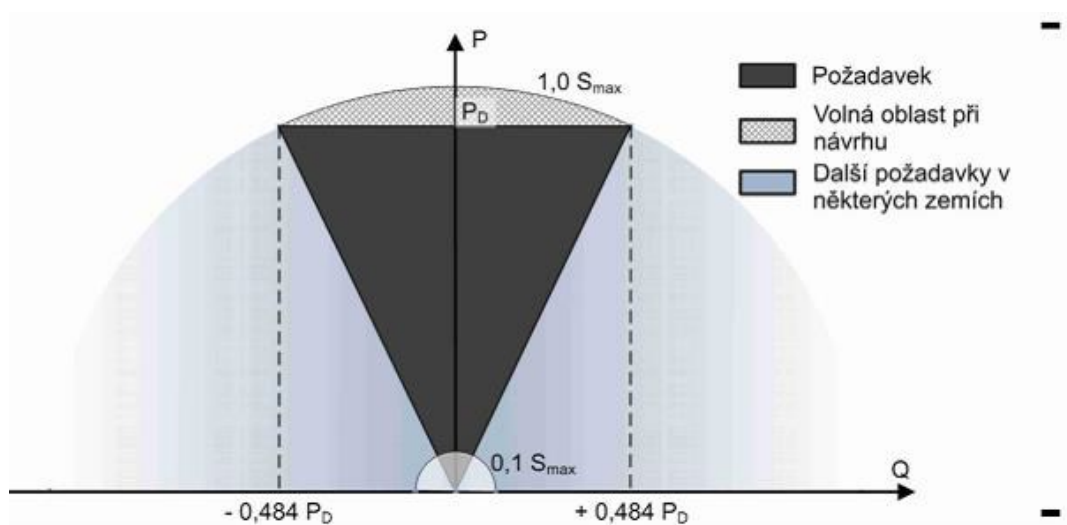
Statické udržování napětí v síti je udržování napětí ve smluvně stanovených mezích za normálního provozu v síti při pomalých změnách napětí. Pokud to vyžadují podmínky v síti, a PDS tento

požadavek uplatní, musí se výrobní zařízení na statickém udržování napětí podílet pomocí jalového výkonu v rozsahu účinníku výroby mezi 0,90 kapacitní a 0,90 induktivní.

[6]

Podpora napětí pomocí jalového výkonu

Výkyvy napětí musí zůstat v povolených mezích. Výrobní moduly a výroby musí být schopny přispívat k tomuto požadavku během normálního provozu sítě. Výrobna musí být schopna splnit požadavky uvedené níže v celém provozním rozsahu napětí a kmitočtu. Grafické znázornění minimálních i nepovinných požadavků dodávky/odběru jalového výkonu při jmenovitém napětí je na **Obr. 3.1**, kde P_D je návrhový výkon výroby.



Obr. 3.1 Požadavky na dodávku/odběr jalového výkonu při jmenovitém napětí [6]

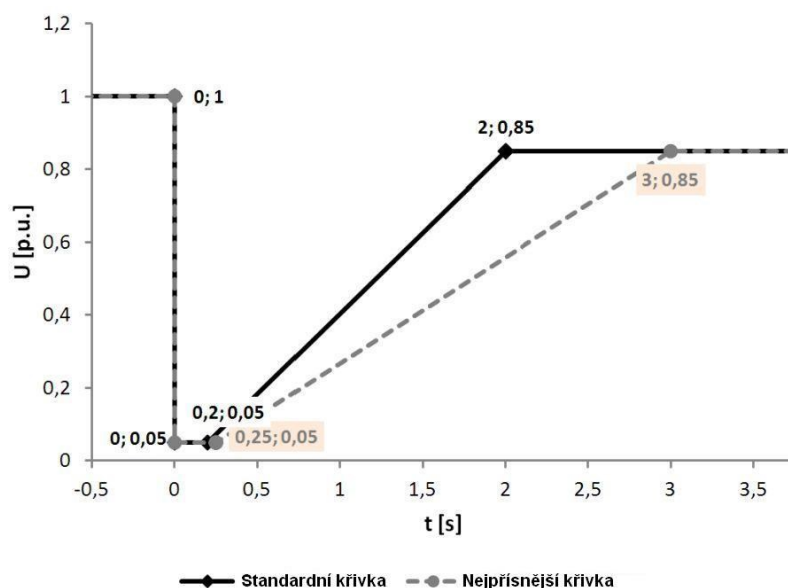
Dynamická podpora sítě

Dynamickou podporou sítě se rozumí udržování napětí při poklesech napětí v síti vvn a zvn, zamezující nežádoucímu odpojení výkonů napájejících sítě nn, vn a rozpadu sítě. Proto se musí i výroby v sítích nn, vn a 110 kV podílet na dynamické podpoře sítě. To znamená, že musí být technicky schopné zůstat připojené i při poruchách v síti, při kterých dochází k poklesům napětí. To se týká všech druhů zkratů (jedno-, dvou-, i třífázových) u výroben připojených do sítě nn se hodnotí nejmenší fázové napětí, a pokud není střední vodič, pak nejmenší sdružené napětí. U výroben v sítích vn a 110 kV se hodnotí nejmenší sdružené napětí.

[6]

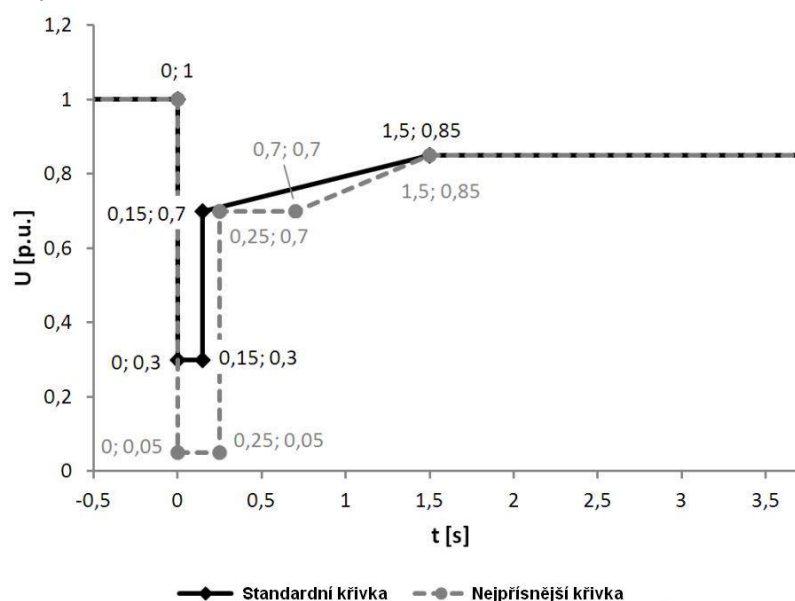
Překlenutí poruchy při krátkodobém poklesu napětí (Low voltage ride through - LVRT)

Výrobní připojená pomocí střídače



Obr. 3.2 Schopnost překlenutí poruchy pro výrobní se střídačem na výstupu [6]

Přímo připojená výrobní



Obr. 3.3 Schopnost překlenutí poruchy přímo připojených generátorů [6]

Překlenutí poruchy při krátkodobém nadpětí (HVRT)

Výrobní moduly musí být schopny zůstat připojeny, pokud napětí na vývodech nepřekročí horní mez rozsahu napětí pro trvalý provoz až do úrovně 120% dohodnutého napětí po dobu 1 sekundy, a 115% deklarovaného napětí po dobu 60 sekund. U sítí nízkého napětí musí být vyhodnoceno nejvyšší fázové

napětí, nebo tam kde není dostupné fázové nejvyšší sdružené napětí, zatímco u sítí vysokého napětí a 110 kV musí být vyhodnoceno nejvyšší sdružené napětí. Jde-li o připojení do sítě s OZ, pak k odpojení musí dojít v průběhu beznapěťové přestávky. PDS stanoví, které výroby se podle jejich předpokládaných technických možností musí podílet na dynamické podpoře sítě. To se děje zadáním nastavení pro rozpadovou síťovou ochranu.

[6]

Požadavky na zkratový proud výrobních modulů v síti vn a 110 kV

Výrobní moduly s invertory a dvojité napájenými rotor

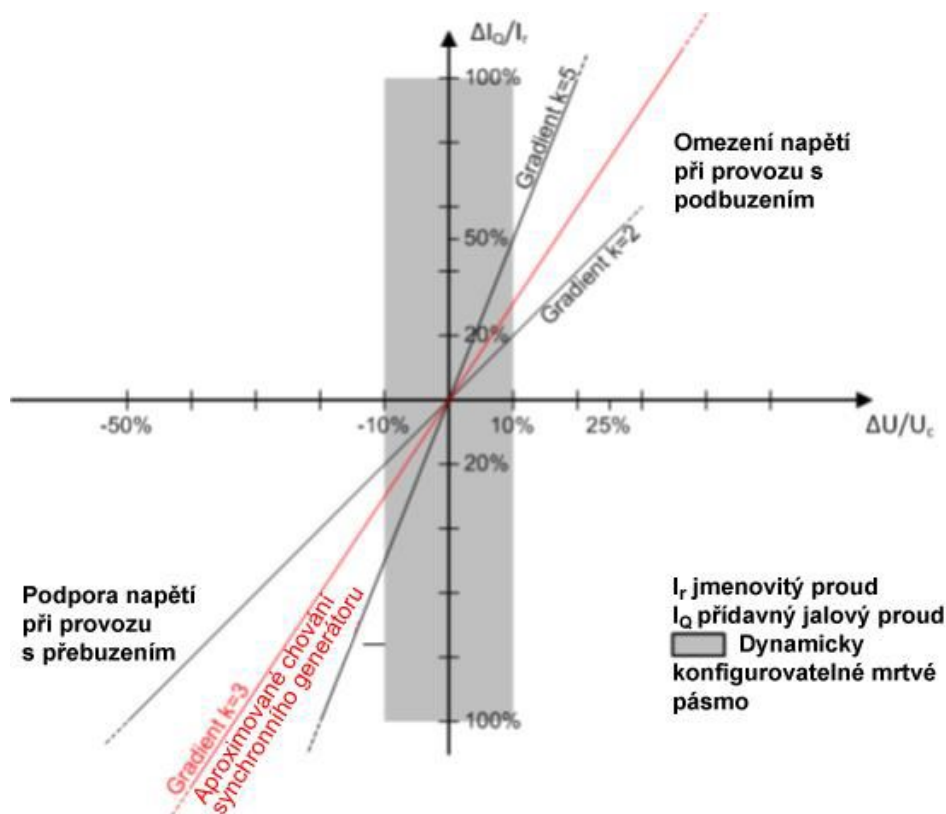
Synchronní výrobní moduly

Tyto výrobní moduly z principu poskytují podporu napětí při poruchách a změnách napětí, proto na ně nejsou kladeny žádné zvláštní dodatečné požadavky.

Asynchronní výrobní moduly

Tyto výrobní moduly nejsou schopné podporovat napětí při poruchách a odchylkách napětí. Připojení do určité sítě je možné na základě dohody s PDS.

[6]



Obr. 3.4 Princip podpory napětí sítě při poruchách [6]

3.3 Náhodné ostrovní provoz

Ač jsou ostrovní provoz zcela jistě přínosem pro chod distribučních soustav a pro odběratele, existuje jistá možnost, kdy může vzniknout náhodný ostrovní provoz. Může se jednat o krátkodobou záležitost, výroba elektrické energie, případně kombinace několika výroben, může být schopna několik sekund uregulovat ostrovní provoz s vyrovnanou bilancí. Pro provozovatele DS jsou tyto náhodné ostrovní provoz nežádoucí. Této možnosti se budu věnovat v následujících kapitolách.

4 Práce pod napětím

Práce pod napětím (PPN) jsou členěny na běžné PPN a vybrané PPN. Vybrané práce pod napětím jsou práce prováděné stanovenými pracovními postupy a metodami a mohou být vykonávány jen osobami k těmto pracím vyškolenými.

Za běžné PPN se považují: měření přenosnými přístroji, zkoušení včetně ověření napěťového stavu, zajištění a odjištění pracoviště, výměna výkonových pojistek nad 1000 V, práce na nekrytých živých částech zařízení do 1000 V apod.

Vybrané práce pod napětím jsou:

- práce na vzdálenost – práce na EZ, při níž je osoba mimo ochranný prostor a do tohoto prostoru vniká a živých částí se dotýká pouze pracovními pomůckami a s použitím ochranných prostředků,
- práce v dotyku – práce na EZ, při níž pracující osoba vniká do ochranného prostoru a dotýká se živých částí příslušnými pracovními pomůckami za současného použití ochranných prostředků,
- práce na potenciálu – práce na EZ, při níž je osoba vodivě spojena s živými částmi jedné fáze (pólu), na kterém pracuje, a za jejíž součást je považována,
- kombinace výše uvedených metod.

[4]

Za práce pod napětím se však považují i práce v takové blízkosti od živých částí pod napětím, že při nich nejsou dodrženy minimální předepsané bezpečné vzdálenosti, nebo když práce probíhá na živých částech sice vypnutých, ale nezajištěných proti uvedení pod napětí. Práce na EZ pod napětím se dovoluje jen tehdy, jsou-li zařízení přehledná a části, na nichž se má pracovat, jsou přístupné. Při práci musí být dodržena všechna bezpečnostní opatření, použity předepsané ochranné a pracovní pomůcky a práce musí být prováděna pouze podle schváleného pracovního postupu. Pracovní metody pro práce pod napětím mohou být prováděny jen na základě předem stanovených pracovních postupů odsouhlasených osobou odpovědnou za EZ.

[4]

Vybrané PPN se mohou provádět za následujících podmínek:

- na vybrané PPN se vydává písemný příkaz „B-PPN“,
- při PPN musí být zajištěno stabilní postavení, které pracující osobě umožňuje mít obě ruce volné,
- PPN se smí provádět buď příslušnými ochrannými prostředky a pracovními pomůckami izolovanými pro napětí, na němž se pracuje, nebo ze stanoviště izolovaného proti zemi pro dané napětí,
- při PPN musí osoby dodržovat minimální vzdálenost kterékoliv části těla nebo s tělem spojených vodivých předmětů od uzemněných částí na vzdušnou vzdálenost DL

- při PPN na potenciálu dbá osoba o trvalé spojení se živou částí, pracovat smí jen na jedné fázi (pólu) EZ a nesmí se přiblížit k částem s jiným potenciálem kteroukoliv částí těla, nebo vodivými předměty se kterými pracuje na vzdálenost menší než DL.

Práce pod napětím jsou zakázány v nevyhovujících prostorách, při nevhodných atmosférických podmínkách a dále všude tam, kde nelze dodržet ustanovení příslušných bezpečnostních předpisů.

[4]

Vedoucí práce musí informovat osobou zodpovědnou za EZ o rozsahu prací. Osoby pracující pod napětím musí být na tuto práci školeny a jejich způsobilost musí být udržována. Před zahájením práce musí vedoucí práce seznámit osoby pracující, z čeho se práce sestává, jaká jsou bezpečnostní hlediska jaká je úloha každého z nich a jaké nářadí a výstroj budou použity. Povolení k zahájení práce smí dát pouze vedoucí práce. Úroveň dozoru musí odpovídat druhu a složitosti pracovní činnosti a/nebo napěťové hladině. Před ukončením práce musí vedoucí práce informovat osobu zodpovědnou za EZ požadovaným způsobem.

[4]

4.1 Zvláštní režim provozu

Zvláštní režim provozu je soubor organizačních a technických opatření zajišťujících bezpečnost osob provádějících pracovní činnosti na elektrickém zařízení vn postupy a metodami PPN.

Zvláštní režim provozu musí být stanoven pro vybrané pracovní činnosti na elektrickém zařízení vn prováděné postupy a metodami PPN.

Zvláštní režim provozu je stanoven před zahájením vybraných pracovních činností na elektrickém zařízení vn prováděných postupy a metodami PPN a je zrušen po jejich ukončení.

Zvláštní režim provozu pro prováděnou pracovní činnost stanovuje dispečer technického dispečinku na základě požadavku vedoucího práce PPN vn v rozsahu stanoveném v Příloze IV normy PNE 33 0000-6.

V distribuční soustavě, se zvláštní režim provozu stanovuje pro vybranou pracovní činnost PPN v kompenzovaných sítích vn i odporově uzemněných sítích vn. Zvláštní režim provozu stanoví a ruší výhradně dispečer technického dispečinku.

[5]

Zvláštní režim provozu v kompenzovaných sítích zahrnuje

- a) potřebné úpravy zapojení distribuční soustavy (převedení výrobní elektřiny z vedení, na kterém bude prováděna pracovní činnost se stanoveným zvláštním režimem provozu, na jiné vedení nebo její vypnutí. Zkrácení délky vedení, na kterém je prováděna pracovní činnost se stanoveným zvláštním režimem provozu, atd.

- b) spojení mezi dispečerem a vedoucím práce PPN vn pomocí minimálně dvou prostředků (dva mobilní telefony, mobilní telefon a radiostanice)
- c) zákaz opětného zapnutí vedení se stanoveným zvláštním režimem provozu po jeho výpadku do vyjasnění příčiny výpadku a domluvy dispečera s vedoucím práce PPN vn
- d) změnu nastavení ochran vedení se stanoveným zvláštním režimem provozu
 - nastavení minimálního vypínacího času ochrany
 - vyřazení automatiky opětného zapnutí a automatických záskoků
- e) přepojení napěťového zemního relé ze stavu signalizace zemního spojení do stavu vypnutí vypínače vedení se stanoveným zvláštním režimem provozu
- f) přepojení výroben elektřiny s instalovanými rotačními generátory o celkovém instalovaném výkonu větším než 500 kVA připojených na vedení, na kterém má být stanoven zvláštní režim provozu, na jiná vedení, vypnutí těchto výroben elektřiny nebo převedení těchto výroben elektřiny do ostrovního provozu. Toto opatření se týká rovněž výroben elektřiny s instalovanými rotačními generátory s celkovým instalovaným výkonem větším než 500 kVA připojených na napěťové úrovni nn. Podklady o výrobnách elektřiny zajistí pro odbor Příprava místně příslušné pracoviště úseku Řízení distribučních aktiv, včetně jejich průběžné aktualizace
- g) v případě potřeby zajištění obsluhy v bezobslužné elektrické stanici. Potřebu obsluhy určí a obsluhu zajistí příslušný technik odboru Příprava, případně operativně vyžádá dispečer
- h) během zřízeného ZRP není dovoleno manipulovat v soustavě napájené ze stejné přípojnice jako ZRP vedení s jednopólovými prvky (FLR odpínače) s výjimkou kruhování dvou vedení ze stejné přípojnice. Důvodem je velká pravděpodobnost zbytečného výpadku vedení se ZRP.

Poznámka:

V případě zřizování ZRP dálkově či místně, kde již jsou nastaveny sady pro zřízení ZRP, je nutné tyto sady využít. Jedná se o vyšší bezpečnost.

[5]

Zvláštní režim provozu v odporově uzemněných sítích zahrnuje

- a) potřebné úpravy zapojení distribuční soustavy (převedení výroby elektřiny z vedení, na kterém bude prováděna pracovní činnost se stanoveným zvláštním režimem provozu, na jiné vedení nebo její vypnutí. Zkrácení délky vedení, na kterém je prováděna pracovní činnost se stanoveným zvláštním režimem provozu, atd.
- b) spojení mezi dispečerem a vedoucím práce PPN vn pomocí minimálně dvou prostředků (dva mobilní telefony, mobilní telefon a radiostanice)
- c) zákaz opětného zapnutí vedení se stanoveným zvláštním režimem provozu po jeho výpadku do vyjasnění příčiny výpadku a domluvy dispečera s vedoucím práce PPN vn
- d) změnu nastavení ochran vedení se stanoveným zvláštním režimem provozu
 - nastavení minimálního vypínacího času ochrany
 - vyřazení automatiky opětného zapnutí a automatických záskoků

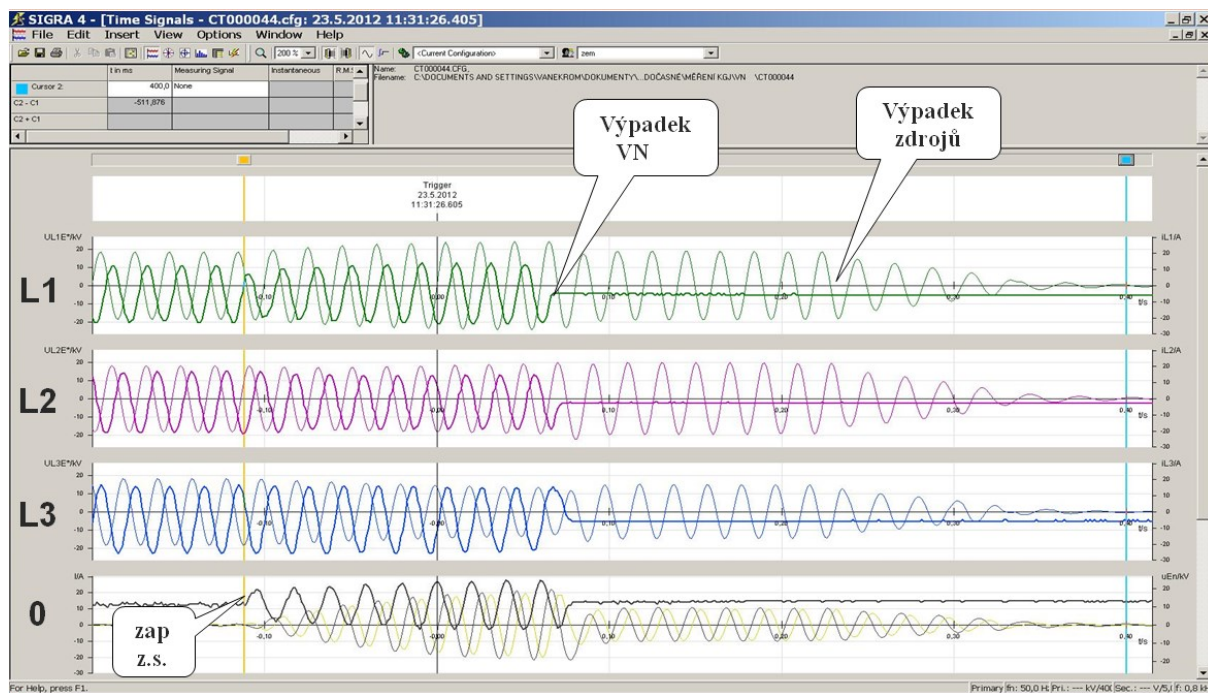
- e) přepojení výroben elektřiny s instalovanými rotačními generátory o celkovém instalovaném výkonu větším než 500 kVA připojených na vedení, na kterém má být stanoven zvláštní režim provozu, na jiná vedení, vypnutí těchto výroben elektřiny nebo převedení těchto výroben elektřiny do ostrovního provozu. Toto opatření se týká rovněž výroben elektřiny s instalovanými rotačními generátory s celkovým instalovaným výkonem větším než 500 kVA připojených na napěťové úrovni nn. Podklady o výrobnách elektřiny zajistí pro odbor Příprava místně příslušné pracoviště úseku Řízení distribučních aktiv, včetně jejich průběžné aktualizace
- f) v případě potřeby zajištění obsluhy v bezobslužné elektrické stanici. Potřebu obsluhy určí a obsluhu zajistí příslušný technik odboru Příprava, případně operativně vyžádá dispečer

Poznámka:

V případě zřizování ZRP dálkově, kde již jsou nastaveny sady pro zřízení ZRP, je nutné tyto sady využít. Jedná se o vyšší bezpečnost. Tj. jsou nastaveny minimální vypínací časy ochran.

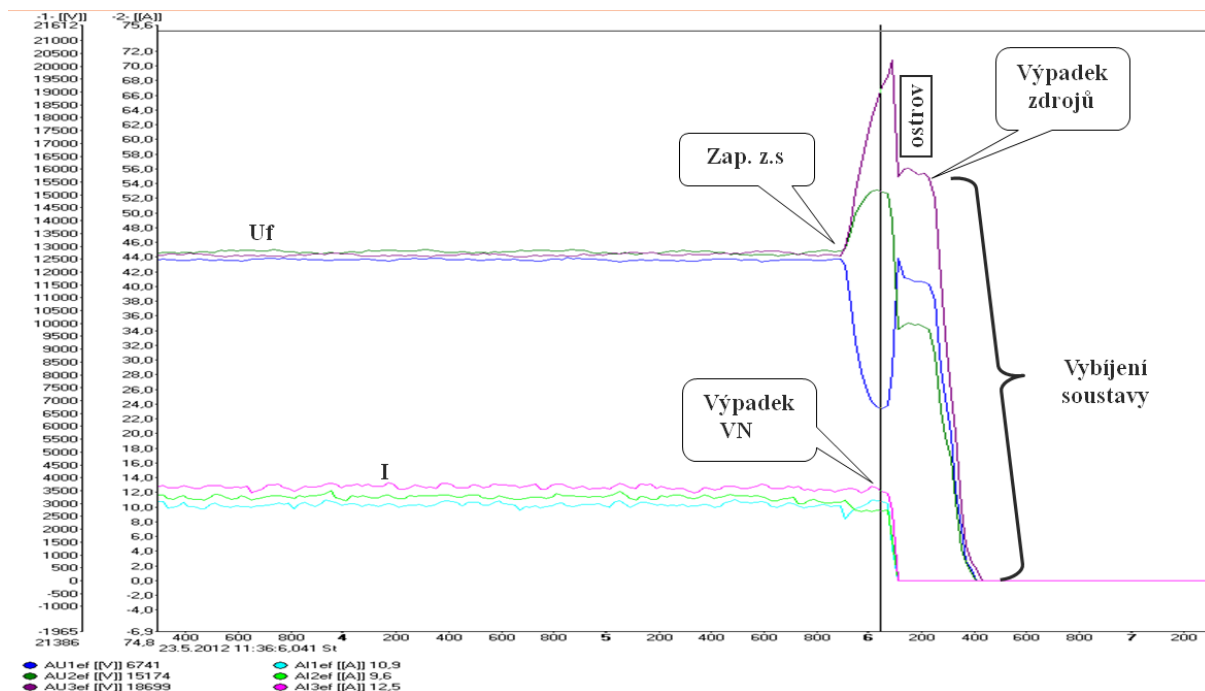
Při ručním zřizování ZRP Technikem diagnostiky ochran se budou postupně upravovat nastavení ochran tak, že se sníží čas vypnutí ochrany na nulu.

[5]

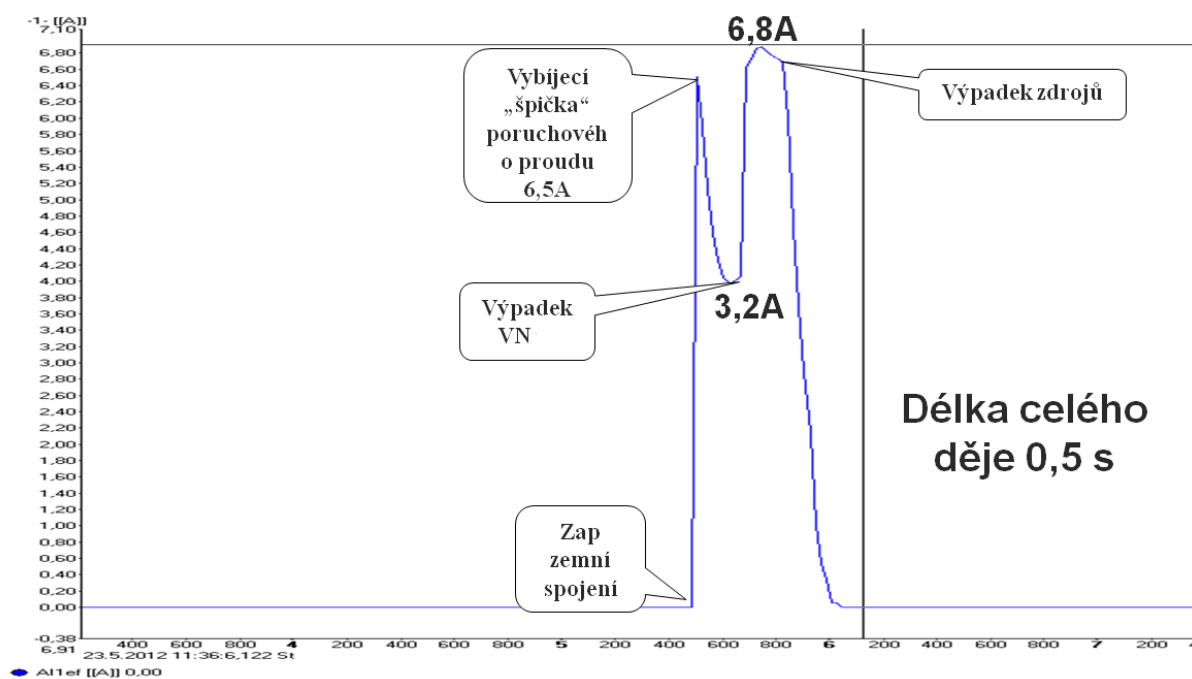


Obr. 5.2 Záznam U, I z ochran napájecího vedení vn

Na **Obr. 5.2** vidíme okamžik vzniku zemního spojení, kdy po 180ms došlo k výpadku vedení vn na rozvodně. Samotný náběh U_0 byl pomalý, jelikož se jednalo odporovou poruchu 1500Ω , simulující odpor lidského těla. Po výpadku OZE se soustava vybíjela díky rotačním spotřebičům dalších 170ms. Z **Obr. 5.3** se dají odečíst efektivní hodnoty tohoto jevu.



Obr. 5.3 Záznam efektivních hodnot U, I z měřicího přístroje PRYM



Obr. 5.4 Záznam celkového průběhu I zemním spojením

Na **Obr. 5.4** je vidět celkový průběh proudu místem odporové poruchy. Celý děj trval 0,5s a místem poruchy teklo od 3,2 po 6,8A. Při skutečném pochybení pracovníka PPN by tento proud tekla tělem.

30 ms	zapnutí zemního spojení se ZRP na VN
150 ms	$U_o > 30V$, start ochrany (odpor způsobil pomalý nárůst U_o)
150 ms	výpadek vypínače VN na rozvodně, vznik ostrovního provozu izolované soustavy VN + 2ks FVE + KGJ
170 ms	výpadek KGJ a FVE
1 min 8 s	konec proudu zkušebním odporem, dojezd rotačních spotřebičů na vedení - celková doba poruchy 500 ms
10 min	zapnutí vypínače VN na rozvodně (vedení bez napětí 1min 9s)
	zapnutí vypínačů FVE 1MW....a postupně další...

Obr. 5.5 Časová osa měření 1

Použité měřicí přístroje:

- | | |
|------------------|--|
| • PRYM 3ks | - I zkušebním odporem, I_o , U_o , I_f , U_f |
| • RTU7 4ks | - I a U na 2FVE, bioplynu a recloseru na vedení vn |
| • 7SJ621 | - ochrana Siemens na vedení vn |
| • SEPAM S41 | - ochrana Schneider na BPS |
| • Picoscope 3424 | - sdružená napětí vedení vn |

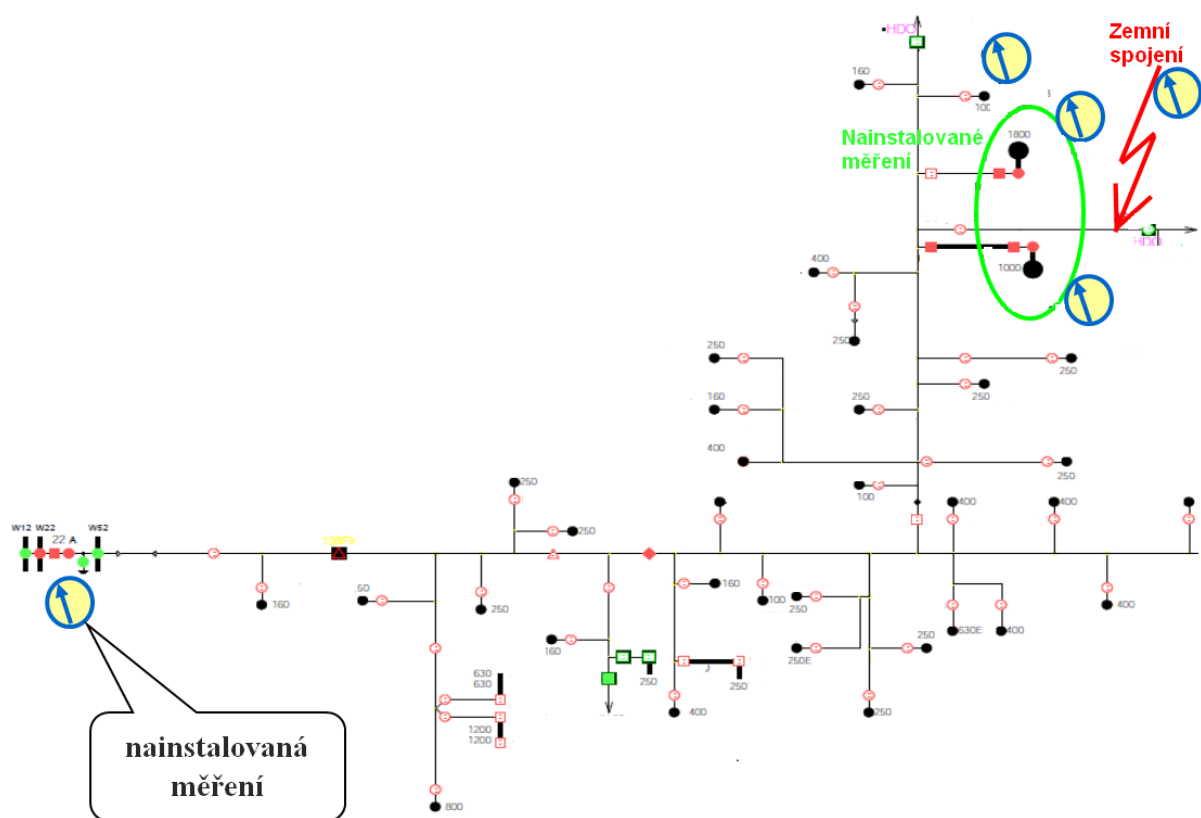
Vyhodnocení měření:

Na časové ose **Obr. 5.5** je přehledně znázorněn průběh celého měření.

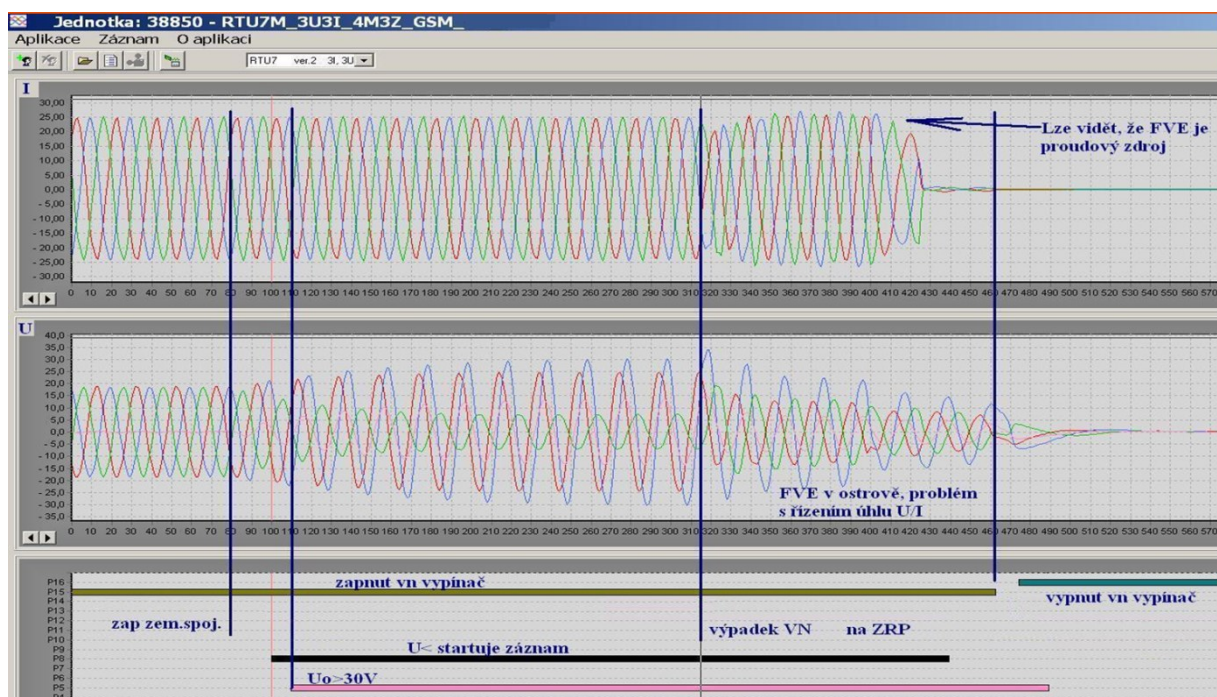
- Poruchový stav, zapnutím SPP1, vznikl v době přibližné rovnováhy výroby a spotřeby P na vedení vn – dodávka 251 kW a odběr 470 kVAr, což odpovídá účinníku v místě ochrany 0,47. Vyrobený činný výkon byl spotřebován na vedení, jalový výkon byl nasán z přípojnice.
- Měření bylo prováděno na soustavě se zemním kapacitním proudem 177A.
- Zkušební odpor 1500Ω (přibližný odpor člověka na vn) dle předpokladu utlumil strmost přechodného jevu zemního spojení.
- Napájecí vedení na rozvodně vypadlo na ZRP za 180ms po vzniku poruchy.
- rozptýlené OZE prodloužily dobu poruchy o 150ms.
- Následujících 170ms po výpadku všech zdrojů se soustava vybíjela vlivem rotačních spotřebičů na vedení vn
- Synchronní generátor v BPS vypadl nadfrekvencí 51Hz, odečteno shodně z ochrany vedení vn i monitorů PRYM. Napětí přitom klesalo, protože stroj byl podbuzený
- FVE vypadly ihned po synchronním stroji. Střídače FVE nejsou schopny pracovat bez řídicí frekvence z distribuční soustavy (ČSN EN 50438).

5.2 Měření 2 – Zemní spojení – síť s dvěma FVE 1,8+1MW

Měření proběhlo v kompenzované síti 22kV se zřízeným ZRP. Cílem měření bylo nasimulovat chybu pracovníka provádějícího vybrané práce PPN na vedení vn 22kV s připojenými OZE. Vedení je napájeno z rozvodny s transformací 110kV na 22kV se zhášecí tlumivkou. Na vedení jsou kromě distribučních odběrů připojeny dvě FVE 1,8MW a 1MW. Pro simulaci poruchového stavu bylo tentokrát nainstalováno zemní spojení s odporem 1500Ω na konec vedení. Na obrázku **Obr. 5.6** je schéma vedení vn s vyznačenými místy měření a umístění zemního spojení. Cílem měření bylo zjistit, zda při výpadku vedení vn z rozvodny vznikne náhodný ostrovní provoz, než dojde k odpojení všech OZE jejich síťovými ochranami.

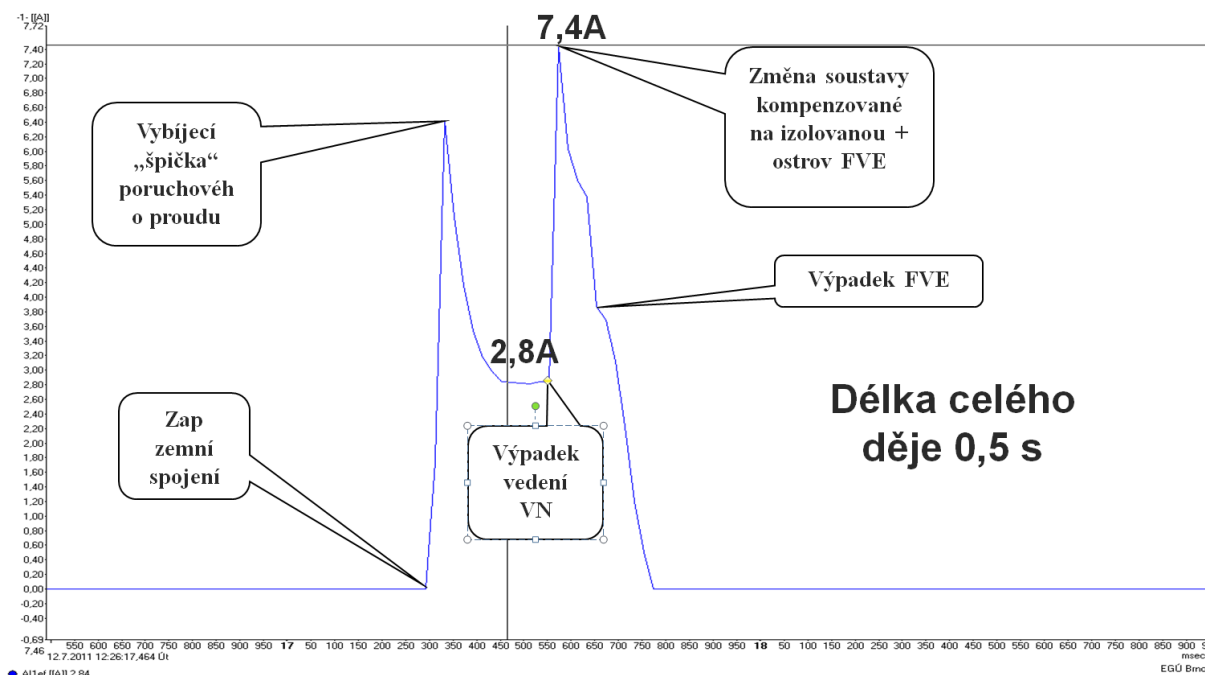


Obr. 5.6 Schéma provozního stavu DS



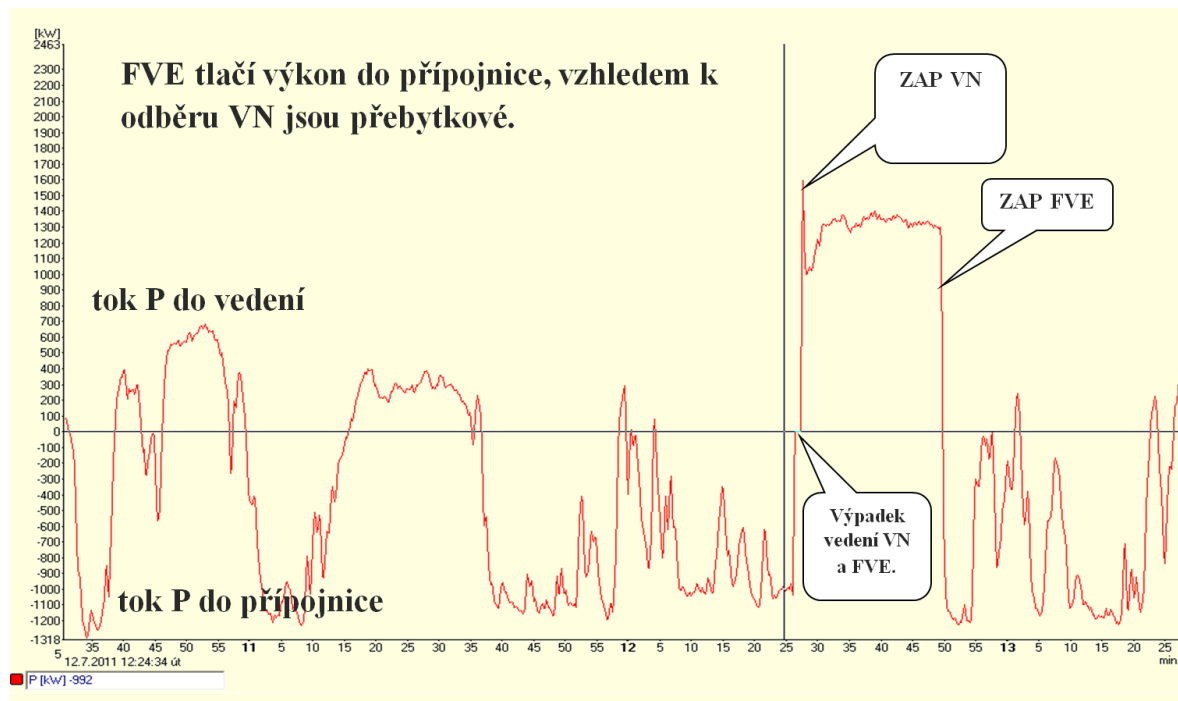
Obr. 5.7 Záznam z RTÚ FVE 1MW

Na obrázku **Obr. 5.7** lze vidět, že se FVE 1MW po výpadku vedení vn začala chovat jako proudový zdroj. Zároveň však nastaly problémy s napětím a po 150ms došlo k odpojení FVE od sítě.



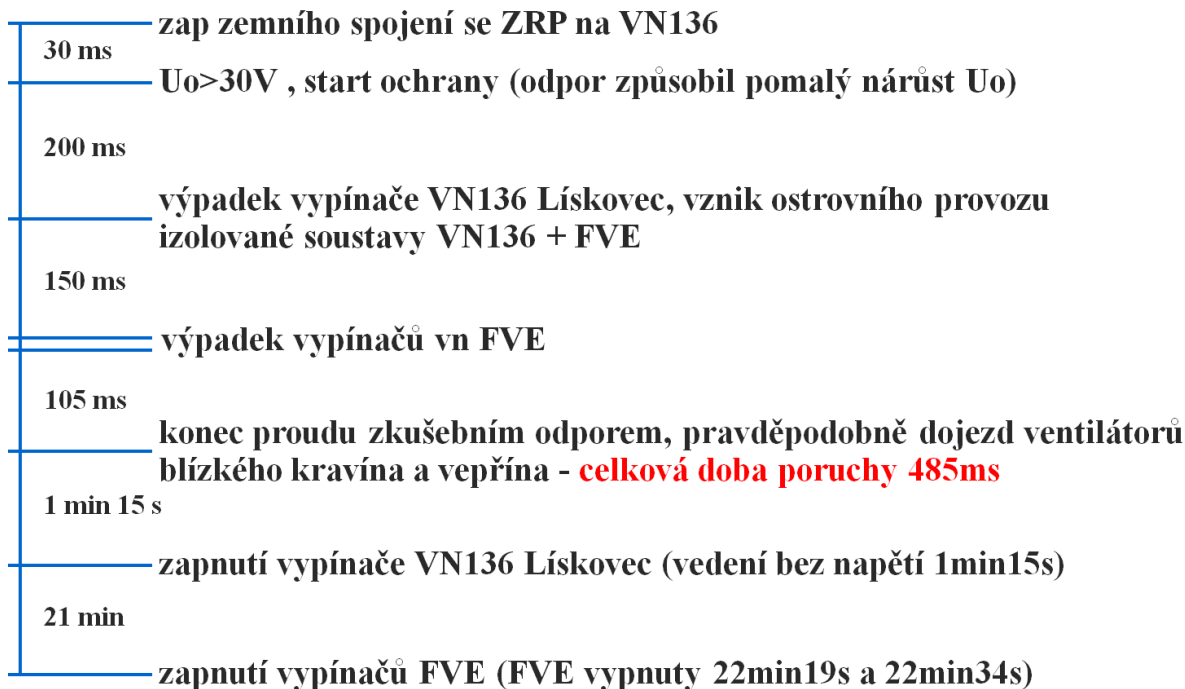
Obr. 5.8 Záznam celkového průběhu I zemním spojením

Na Obr. 5.8 je vidět celkový průběh proudu místem odporové poruchy. Celý děj trval 0,5s a místem poruchy teklo od 2,8 po 7,4A. Při skutečném pochybení pracovníka PPN by tento proud tekla tělem.



Obr. 5.9 Záznam výkonu vedení vn na rozvodně

Na **Obr. 5.9** je vidět celkový průběh činného výkonu na napájecím vedení vn. Bilance OZE připojených k vedení byla přebytková, jelikož odběr vedení byl menší, takže činný výkon přetékal do přípojnice.



Obr. 5.10 Časová osa měření 2

Postup měření:

- První zemní spojení kovové bez ZRP pro ověření funkčnosti záznamu všech měřicích míst
- Zřízení ZRP na vedení vn
- Zapnutí jednopólového odpínače FLA – zemní spojení – výpadek vedení vn – ostrovní provoz vedení vn s OZE – výpadek OZE
- Vypnutí jednopólového odpínače FLA
- Zapnutí linky vn
- Zapnutí OZE

Použité měřicí přístroje:

- PRYM 3ks — - I zkušebním odporem, I_o , U_o , I_f , U_f
- RTU7 2ks — - I a U na FVE
- MEG40 — - U na vedení vn
- TOPAS — - I a U na vedení vn
- Picoscope — - U na distribuční trafostanici napojené z vedení vn

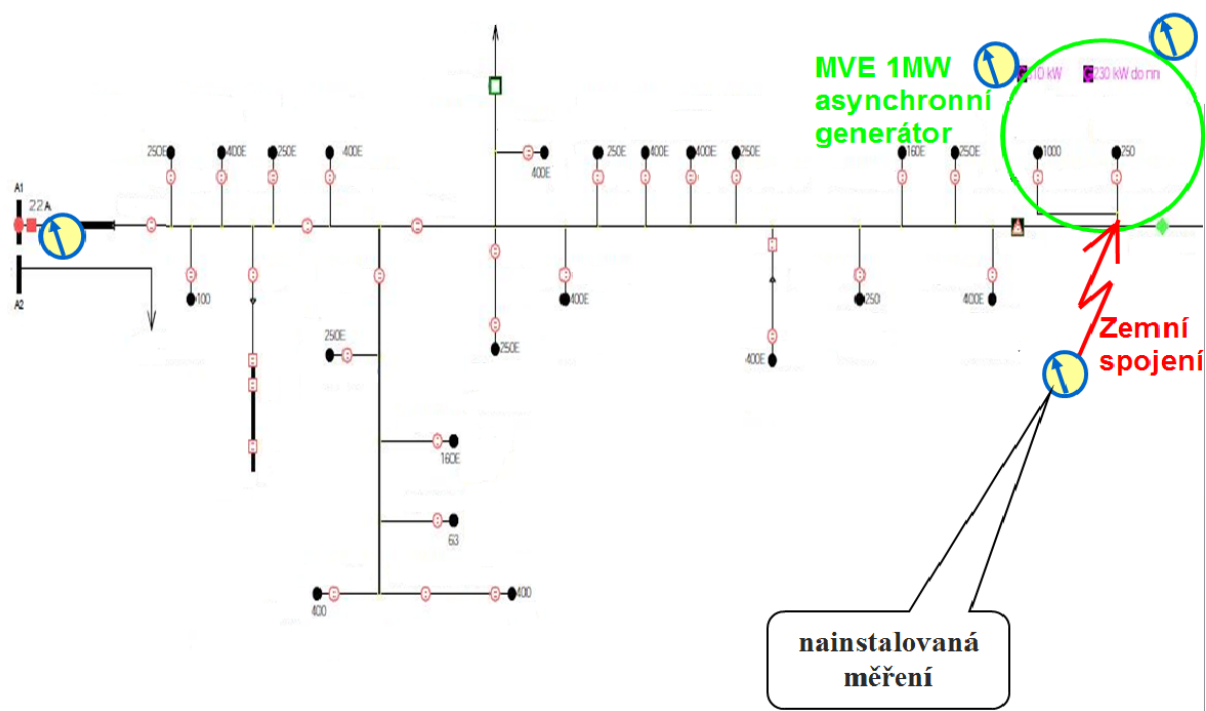
Vyhodnocení měření:

Na časové ose **Obr. 5.10** je přehledně znázorněn průběh celého měření 2.

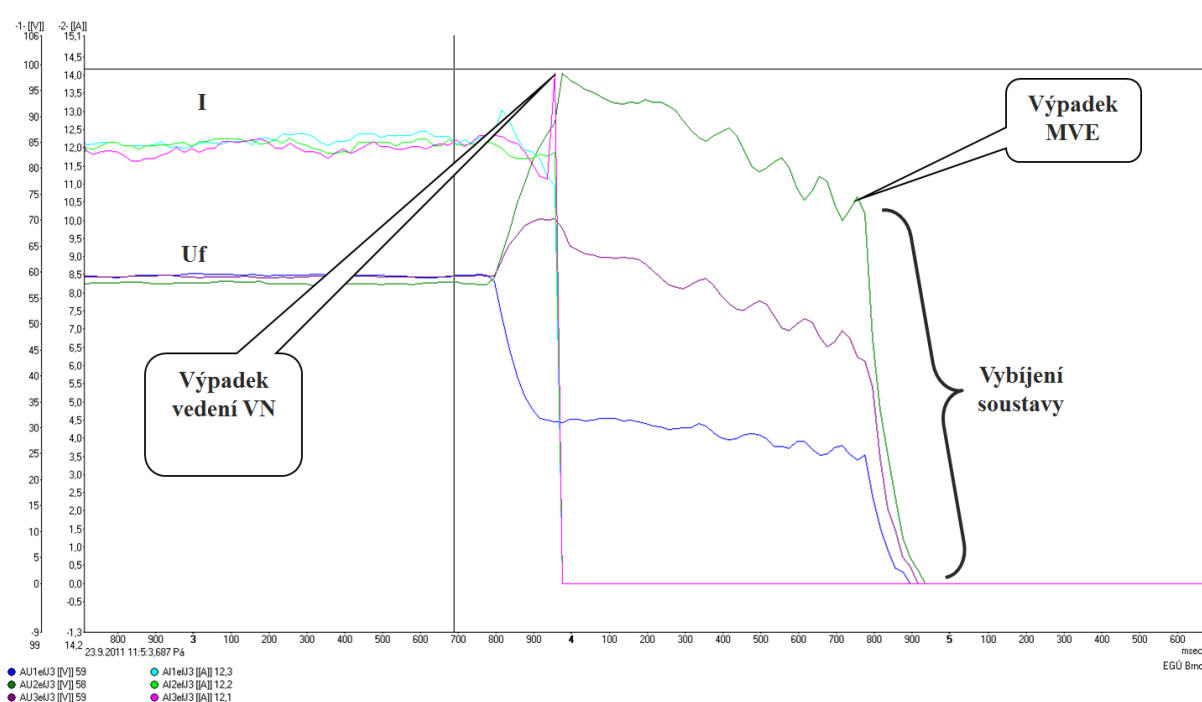
- Ze záznamů výkonů je zřejmé, že FVE byla přebytková viz **Obr. 5.9**.
- Střídače FVE nejsou schopny pracovat bez řídicí frekvence z distribuční soustavy (ČSNEN50438). V ostrovním provozu měly problém s řízením úhlu mezi napětími a brzy vypadly. U1 a U2 šly proti sobě a U3 bylo posunuté o 90°.
- FVE, určené pro paralelní provoz s DS, nejsou schopny ostrovního provozu, jen poruchu lehce prodlouží.
- Měření bylo prováděno na soustavě se zemním kapacitním proudem 120A.
- Zkušební odpor 1500Ω (odpor člověka na vn) dle předpokladu utlumil strmost přechodného jevu zemního spojení. Trvalo 30ms, než Uo překročilo nastavených 30V.
- Napájecí vedení na rozvodně vypadlo na ZRP za 230ms po vzniku poruchy.
- Fotovoltaiky 2,8MW prodloužily dobu poruchy o 150ms.
- Následujících 105ms po výpadku všech zdrojů se soustava vybíjela vlivem rotačních spotřebičů na vedení vn.
- V nejbližší DTS se měřilo napětí nn – žádné přepětí.
- Celková doba proudu tekoucího zkušebním odporem byla 0,5 s. Tento proud byl v jednotkách Ampér.

5.3 Měření 3 – Zemní spojení – síť s MVE 1MW

Měření proběhlo v kompenzované síti 22kV se zřízeným ZRP. Cílem měření bylo nasimulovat chybu pracovníka provádějícího vybrané práce PPN na vedení vn 22kV s připojenými OZE. Vedení je napájeno z rozvodny s transformací 110kV na 22kV se zhášecí tlumivkou. Na vedení jsou kromě distribučních odběrů připojena MVE 1MW. Pro simulaci poruchového stavu bylo zemní spojení s odporem 1500Ω na odbočce z vedení k MVE. Na obrázku **Obr. 5.11** je schéma vedení vn s vyznačenými místy měření a umístění zemního spojení. Cílem měření bylo zjistit, zda při výpadku vedení vn z rozvodny vznikne náhodný ostrovní provoz, než dojde k odpojení OZE jejich síťovými ochranami.

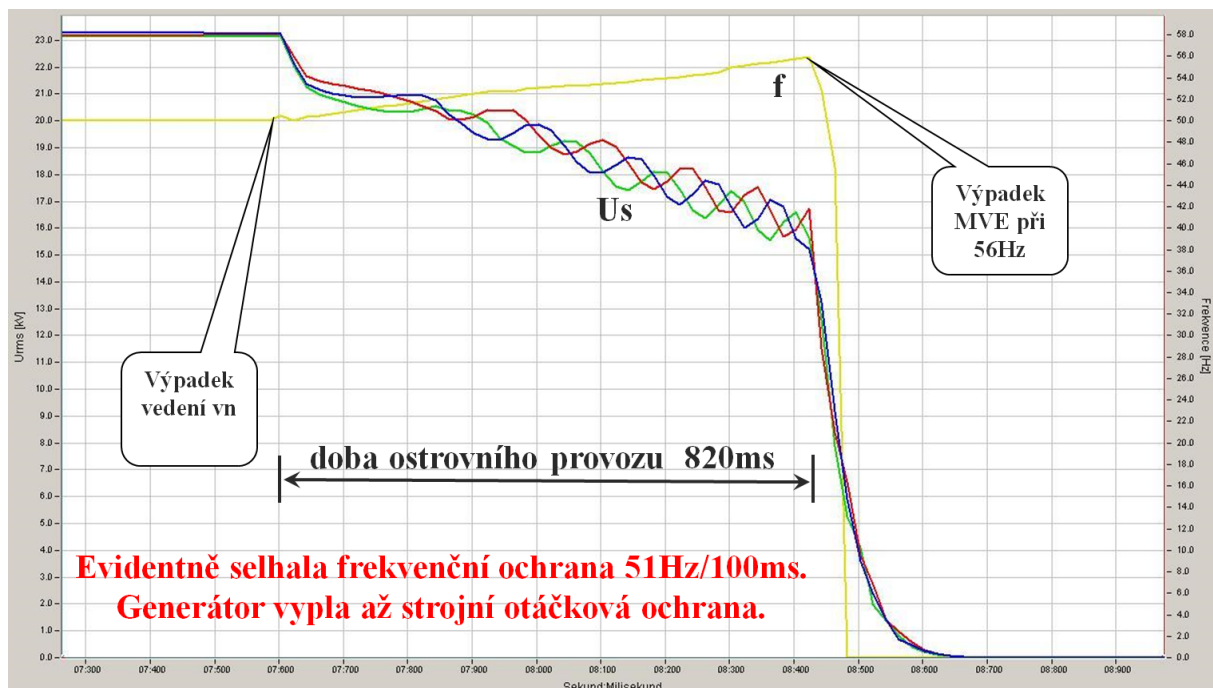


Obr. 5.11 Schéma provozního stavu DS

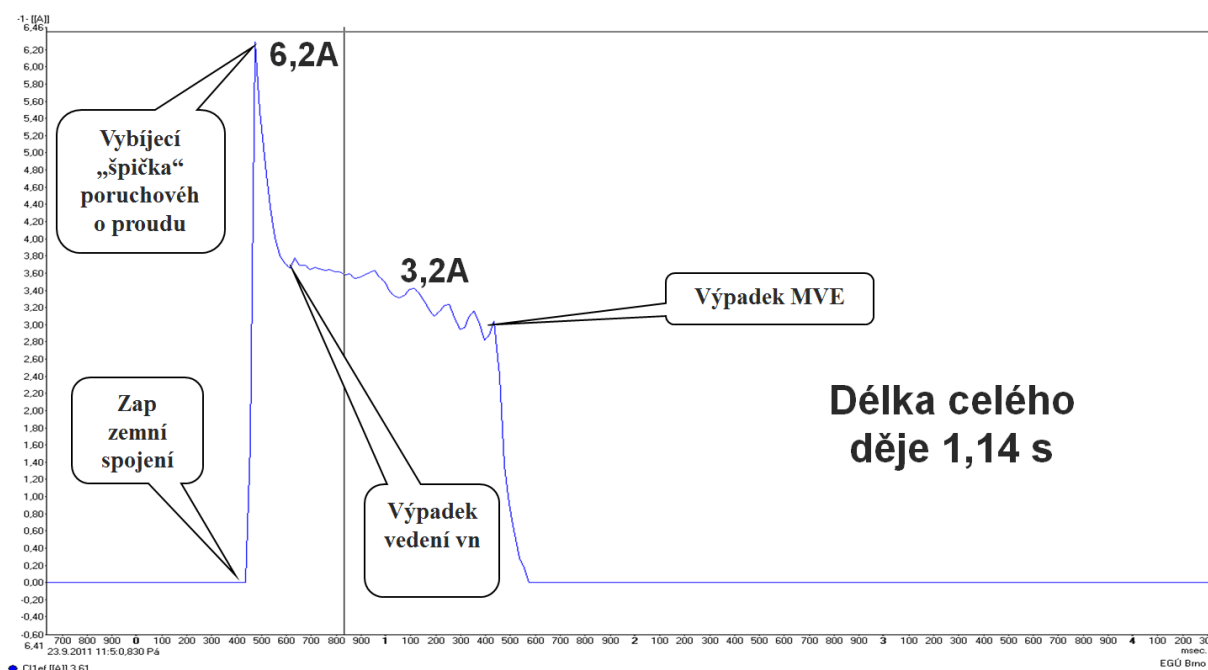


Obr. 5.12 Záznam efektivních hodnot U , I z měřicího přístroje PRYM

Na **Obr. 5.12** je vidět celkový průběh efektivních hodnot U a I měřených na napájecí rozvodně. Z těchto průběhů je zřejmé že došlo k selhání síťové ochrany OZE. Z **Obr. 5.13** kde jsou zobrazeny hodnoty frekvence a sdruženého napětí MVE v ostrovním provozu je zřejmé, že generátor byl odpojen až mechanickou otáčkovou ochranou stroje. Kdy za 820ms zrychlil na 56Hz.

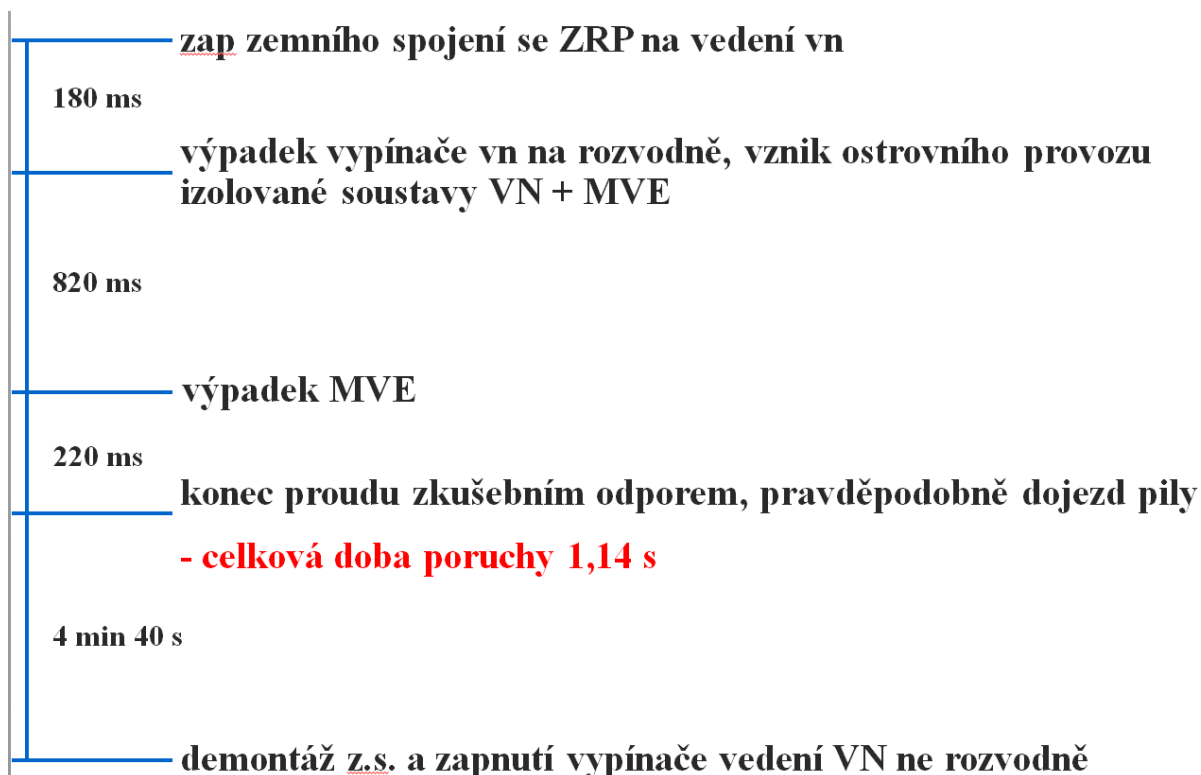


Obr. 5.13 Záznam frekvence a sdruženého napětí MVE v ostrovním provozu



Obr. 5.14 Záznam celkového průběhu I zemním spojením

Na **Obr. 5.14** je vidět celkový průběh proudu místem odporové poruchy. Celý děj trval 1,14s a místem poruchy teklo od 3,2 po 6,2A. Při skutečném pochybení pracovníka PPN by tento proud tekli tělem.



Obr. 5.15 Časová osa měření 3

Postup měření:

- První zemní spojení kovové bez ZRP pro ověření funkčnosti záznamu všech měřicích míst
- Zřízení ZRP na vedení vn
- Zapnutí jednopólového odpínače FLA – zemní spojení – výpadek vedení vn – ostrovní provoz vedení vn s OZE – výpadek OZE
- Vypnutí jednopólového odpínače FLA
- Zapnutí linky vn
- Zapnutí OZE

Použité měřicí přístroje:

- PRYM 2ks - I zkušebním odporem, Io, Uo, If, Uf
- MEG40 - U na vedení vn
- TOPAS - I a U na vedení vn
- Picoscope - U na distribuční trafostanici napojené z vedení vn

Vyhodnocení měření:

Na časové ose **Obr. 5.15** je přehledně znázorněn průběh celého měření 3.

- Ze záznamů je zřejmé, že MVE byla přebytková. Frekvence stoupala.
- MVE vypadla až při 56Hz za 820ms strojní otáčkovou ochranou. Selhala frekvenční ochrana 51Hz/100ms
- Měření bylo prováděno na soustavě se zemním kapacitním proudem 200A.
- Zkušební odpor 1500Ω (odpor člověka na vn) dle předpokladu utlumil strmost přechodného jevu zemního spojení.
- Napájecí vedení na rozvodně vypadlo na ZRP za 180ms po vzniku poruchy.
- MVE 1MW prodloužila dobu poruchy o 820ms.
- Následujících 220ms po výpadku všech zdrojů se soustava vybíjela vlivem rotačních spotřebičů na vedení vn
- V nejbližší DTS se měřilo napětí nn – žádné přepětí, ze záznamů je zřejmé že napětí klesalo, jelikož se jednalo o asynchronní stroj.

6 Závěr

Z průběhu měření můžeme vyhodnotit, že vznik náhodných ostrovních provozů v distribučních sítích s OZE vlivem poruchových stavů je možný. Pro provozovatele distribuční soustavy jsou tyto ostrovní provozování nežádoucí, neboť zvyšují riziko úrazu elektrickým proudem. V PPDS příloha č. 4 jsou zakotveny nastavení síťových ochrany, které by měly eliminovat vznik těchto nežádoucích ostrovních provozů.

Z průběhu měření je zřejmé, že pokud jsou síťové ochrany správně nastavené dle PPDS přílohy č. 4, doba trvání nechtěného ostrovního provozu s OZE je minimalizována. Otázkou je, zda jsou takto rychle vypnutelné všechny rozptýlené zdroje. Tyto zdroje ani jejich ochrany nejsou majetkem provozovatele distribuční soustavy. Provozovatel OZE nemá žádnou povinnost předkládat pravidelně protokoly nastavení ochrany a výsledky funkčních zkoušek. Provozovatel distribuční soustavy má k dispozici pouze výchozí revize a protokol nastavení ochrany z doby uvedení zařízení do provozu, které mohou být i desítky let staré. Z měření č. 3 je zřejmé, že v distribuční síti provozují zařízení, které mohou mít s omezenou funkcí ochrany. Frekvenční ochrana nezareagovala na nadfrekvenci a neodstavila OZE. Při 56Hz zareagovala až strojní otáčková ochrana a došlo k odpojení generátoru. Zde je prostor pro vylepšení stávajícího stavu. Provozovatel Distribuční soustavy by měl mít přístup k informacím o aktuálním nastavení ochrany a provozovatel OZE by měl mít povinnost testovat funkčnost těchto ochrany.

I na základě výsledků těchto měření provozovatel distribuční soustavy rozhodl, že při zřízení ZRP při pracích PPN na vzdálenost není nutno preventivně vypínat rozptýlené zdroje (OZE). Vypínají se pouze rotační OZE nad 500kW při pracích PPN na dotyk nebo na potenciálu. Rozhodnutí provozovatele distribuční soustavy mělo vliv jednak na provozovatele OZE, kdy došlo k výraznému omezení počtu preventivního vypínání OZE, při plánovaných pracích pod napětím. Dále také výrazně zjednodušilo přípravu plánovaných prací v rámci řízení sítí. Z rozmachem rozptýlených zdrojů na síti bylo velmi nesnadné plánovat práce pod napětím tak, aby bylo minimalizováno omezení výroby z OZE. Vzhledem k narůstajícímu tlaku, na zvyšování spolehlivosti dodávky elektrické energie, je snižování počtu vypínání elektrického zařízení s omezením dodávky logickým krokem. Práce pod napětím jsou jednou z cest jak toho dosáhnout.

Použitá literatura

- [1] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] Bioplynová stanice. In: *Pelu* [online]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://www.pelu.estranky.cz/clanky/bioplynova-stanice/bioplynova-stanice.html>
- [3] DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 259 s. ISBN 978-80-01-04936-5.
- [4] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [5] ČEZ Distribuce, a.s., *Interní řídicí dokumentace 1*
- [6] PŘÍLOHA 4 PPDS: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY, 2017
- [7] PŘÍLOHA 7 PPDS: PRAVIDLA PRO PODPŮRNÉ SLUŽBY (PpS) ZDROJŮ PŘIPOJENÝCH K SÍTÍM PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Komponenty fotovoltaického systému [1]	3
Obr. 2.2 Příklady zapojení invertorů [1].....	5
Obr. 2.3 Vnitřní zapojení invertoru s transformátorem [1].....	6
Obr. 2.4 Vnitřní zapojení invertoru bez transformátoru [1].....	6
Obr. 2.5 Princip vzniku větru [1]	7
Obr. 2.6 Asynchronní generátor s napájeným rotorem [1].....	9
Obr. 2.7 Synchronní generátor poháněný přímo turbínou [1]	10
Obr. 2.8 Princip regulace STALL, PITCH a ACTIVE-STALL.....	11
Obr. 2.9 Zapojení větrných elektráren s různými typy regulací [1]	12
Obr. 2.10 Princip kogenerace [3]	14
Obr. 2.11 Postup výroby bioplynu [1]	15
Obr. 2.12 Zobrazení procesu BPS s kogenerací [2]	16
Obr. 2.13 Schéma připojení MVE k síti [1]	18
Obr. 3.1 Požadavky na dodávku/odběr jalového výkonu při jmenovitém napětí [6].....	23
Obr. 3.2 Schopnost překlenutí poruchy pro výrobní se střídačem na výstupu [6].....	24
Obr. 3.3 Schopnost překlenutí poruchy přímo připojených generátorů [6]	24
Obr. 3.4 Princip podpory napětí sítě při poruchách [6].....	25
Obr. 5.1 Schéma upraveného provozního stavu DS.....	31
Obr. 5.2 Záznam U, I z ochranného napájecího vedení vn.....	32
Obr. 5.3 Záznam efektivních hodnot U, I z měřicího přístroje PRYM	32
Obr. 5.4 Záznam celkového průběhu I zemním spojením	33
Obr. 5.5 Časová osa měření 1	33
Obr. 5.6 Schéma provozního stavu DS.....	35
Obr. 5.7 Záznam z RTÚ FVE 1MW.....	35
Obr. 5.8 Záznam celkového průběhu I zemním spojením	36
Obr. 5.9 Záznam výkonu vedení vn na rozvodně	36
Obr. 5.10 Časová osa měření 2	37
Obr. 5.11 Schéma provozního stavu DS.....	39
Obr. 5.12 Záznam efektivních hodnot U, I z měřicího přístroje PRYM	39
Obr. 5.13 Záznam frekvence a sdruženého napětí MVE v ostrovním provozu	40
Obr. 5.14 Záznam celkového průběhu I zemním spojením	40
Obr. 5.15 Časová osa měření 3	41

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Typické hodnoty součinitele znečištění [1].....	3
--	---

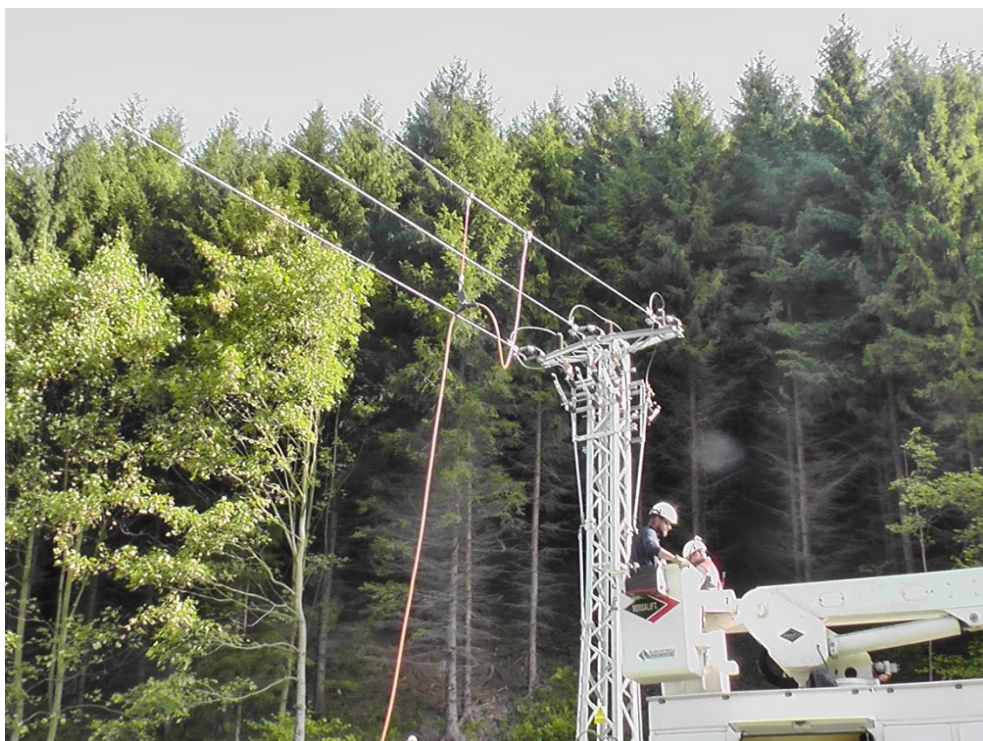
Seznam příloh

Příl. 1 Měření 1 foto 1	46
Příl. 2 Měření 2 foto1.....	46
Příl. 3 Měření 2 foto2.....	47
Příl. 4 Měření 3 foto 1	47

Přílohy



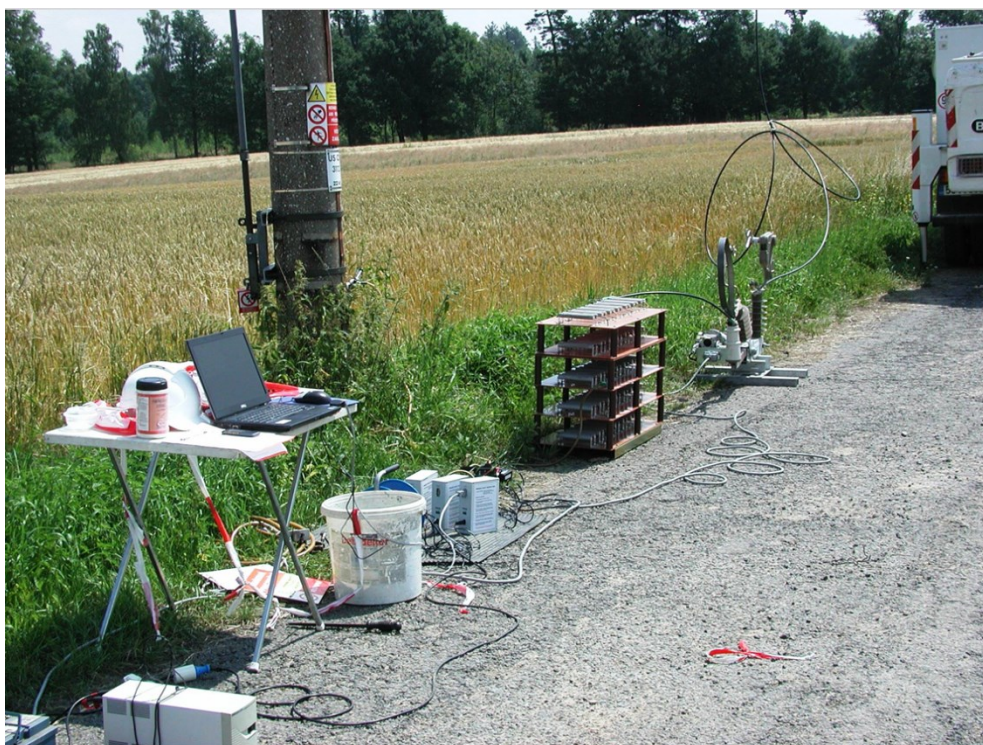
Príl. 1 Měření 1 foto 1



Príl. 2 Měření 2 foto 1



Příl. 3 Měření 2 foto2



Příl. 4 Měření 3 foto 1